

«әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» ҰАҚ

ӘОЖ

Қолжазба құқығында

**ТІЛЛӘКӘРІМ ТҮРСЫН АДАМБЕКҚЫЗЫ**

**Климаттың өзгеруі жағдайында Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық  
алаптарында қар жамылғысы ылғал қорының өзгеруін зерттеу**

8D05204 – Метеорология

Философия докторы (Ph.D) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілері  
г.ғ.к., аға оқытушы,  
Кауазов Азамат Маратович  
GFZ неміс геоғылымдарды зерттеу  
орталығы, Потсдам, Германия  
PhD, профессор  
Аброр Гафуров

Қазақстан Республикасы  
Алматы, 2024

## МАЗМҰНЫ

|                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                                                                                                               | 6.        |
| <b>АНЫҚТАМАЛАР .....</b>                                                                                      | <b>4</b>  |
| <b>БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР.....</b>                                                                       | <b>6</b>  |
| <b>КІРІСПЕ .....</b>                                                                                          | <b>7</b>  |
| <b>1 ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ МОНИТОРИНГІ МЕН<br/>МОДЕЛЬДЕУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ТУРАЛЫ ЖАЛПЫ<br/>МӘЛІМЕТТЕР.....</b> | <b>13</b> |
| 1.1 Қар жамылғысы және оның сипаттамалары .....                                                               | 13        |
| 1.2 Қар жамылғысын зерттеу тарихы .....                                                                       | 14        |
| 1.3 Қар жамылғысын зерттеу әдістері .....                                                                     | 15        |
| 1.3.1 Жер беті деректері бойынша қар жамылғысының мониторингі .....                                           | 15        |
| 1.3.2 Жерсеріктік бақылаулар .....                                                                            | 16        |
| 1.3.3 Реанализ мәліметтерін қолдану мүмкіндіктері .....                                                       | 19        |
| 1.4 Қардың еруін модельдеу .....                                                                              | 21        |
| 1.5 Климаттың жаһандық жылынуы кезеңінде қар жамылғысы ылғал<br>қорының заманауи өзгеруінің тенденциясы ..... | 23        |
| <b>2 ЕСІЛ ЖӘНЕ НҰРА-САРЫСУ СУШАРУАШЫЛЫҚ<br/>АЛАПТАРЫНЫҢ КЛИМАТЫНЫҢ ӨЗГЕРУІ.....</b>                           | <b>27</b> |
| 2.1. Климаттың жаһандық өзгеруі.....                                                                          | 27        |
| 2.2 Қазақстан климатының жағдайы мен өзгеруі .....                                                            | 30        |
| 2.3 Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптарының климаттық<br>сипаттамалары .....                           | 32        |
| 2.3.1. Есіл сушаруашылық алабының климаттық сипаттамалары .....                                               | 32        |
| 2.3.2 Нұра-Сарысу сушаруашылық алабының климаттық сипаттамалары .....                                         | 35        |
| 2.4 Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алаптарында ауа<br>температурасының өзгеруі .....                     | 38        |
| 2.5 Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптарында жауын-<br>шашынның байқалатын өзгерістері .....            | 43        |
| <b>3 ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ЫЛҒАЛ ҚОРЫНЫҢ ӨЗГЕРУ<br/>ДИНАМИКАСЫ .....</b>                                           | <b>49</b> |
| 3.1 Қар жамылғысын зерттеу тарихы .....                                                                       | 50        |
| 3.1.1 Есіл сушаруашылық алабында қар жамылғысы ылғал қорының<br>өзгеру динамикасы .....                       | 54        |
| 3.1.2 Тұрақты қар жамылғысының орнатылуы және жойылуы .....                                                   | 56        |
| 3.2 Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында қар жамылғысы ылғал<br>қорының өзгеру динамикасы .....                  | 67        |
| 3.2.1 Тұрақты қар жамылғысының орнатылуы және жойылуы .....                                                   | 69        |
| 3.3 Қазақстанның жазық аумағы үшін реанализ мәліметтерін қолдану<br>мүмкіндіктері .....                       | 79        |
| <b>4 ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ЫЛҒАЛ ҚОРЫН САНДЫҚ<br/>МОДЕЛЬДЕУ .....</b>                                              | <b>83</b> |
| 4.1 Қар жамылғысы ылғал қоры мәліметтерін модельдеу нәтижелері .....                                          | 86        |

|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1.1 MODSNOW V03 моделін валидациялау .....                  | 89         |
| 4.2 Қар жамылғысы ылғал қорынның перспективалық болжамы ..... | 94         |
| <b>ҚОРЫТЫНДЫ .....</b>                                        | <b>110</b> |
| <b>ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ .....</b>                  | <b>116</b> |
| <b>ҚОСЫМШАЛАР .....</b>                                       | <b>120</b> |

## АНЫҚТАМАЛАР

Диссертация жұмысында келесі терминдер сәйкесінше анықтамаларымен берілген:

Ауа температурасы – ауаның қызу дәрежесін көрсететін атмосфера күйінің термодинамикалық параметрлерінің бірі.

Ауытқу (аномалия) – белгілі бір жердегі метеорологиялық элементтің орташа тәуліктік, бес күндік, айлық және т.б. шамасының сол шаманың көпжылдық орташа мәнінен ауытқуы.

Атмосфералық жауын-шашын – атмосферада сұйық немесе қатты күйде судың болуымен байланысты атмосфералық құбылыстар, бұлттардан немесе ауадан жер бетіне және кез-келген заттарға түседі.

Валидация (тексеру) – машиналық имитация процесінде алынған мәліметтердің сипаттау үшін модель жасалған құбылыстардың нақты барысына сәйкестігін тексеру.

Динамика – бұл тарихи деректерді өңдеудің кіріктірілген механизмі.

Калибрлеу – Модельдің шығуын өлшеу нәтижелерімен ең жақсы келісуді қамтамасыз ету мақсатында жүзеге асырылатын модельді сәйкестендіру процесі.

Климат – географиялық орналасуына байланысты аймаққа тән көпжылдық ауа-райы режимі. Режим ауа-райы жағдайларының жиынтығы мен дәйекті өзгеруін білдіреді.

Климаттың тербелісі – климаттың прогрессивті емес, мерзімді немесе ырғақты өзгеруі.

Климаттың өзгеруі – климат жағдайының өзгеруі, оны (мысалы, статистикалық сынақтар арқылы) оның параметрлерінің орташа және/немесе өзгергіштігінің өзгеруі арқылы анықтауға болады және ұзақ уақытқа, әдетте ондаған жылдарға немесе одан да көп уақытқа созылады.

Корреляция коэффициенті – корреляцияны сипаттайтын сан, яғни екі немесе бірнеше айнымалы шамалар арасындағы байланыстың статистикалық шартты дәрежесі.

Қар жамылғысы ылғал қоры – қысқы кезеңде жиналған қатты жауын-шашынның көлемін көрсететін қар жамылғысының негізгі сандық сипаттамасы

Ла-Нинья құбылысы – Эль-Ниньоның салқын аналогы болып табылатын Мұхиттық және атмосфералық құбылыс, Эль-Ниньоның кең Климаттық көрінісінің бөлігі ретінде – Оңтүстік тербеліс.

Индустрияға дейінгі кезең – 1750 жыл шамасында кең ауқымды өнеркәсіптік қызмет басталғанға дейінгі ғасырлық кезең. 1850-1900 жылдардағы анықтамалық кезең индустрияға дейінгі жаһандық орташа жер бетіндегі температураны жуықтау үшін қолданылады.

Тенденция – процесстің бағыты.

Тербелістер – процестің қайталануы немесе оның қарқындылығының экстремалды мәндері немесе элементтің экстремалды мәндері арасындағы үлкен (көпжылдық) уақыт аралықтары бар тербелістер.

SSP1-2.6 – «тұрақты даму» сценарийі. Келесі ең жақсы сценарийде жаһандық CO<sub>2</sub> шығарындылары айтарлықтай азаяды, бірақ тез емес және 2050 жылдан кейін нөлге жетеді.

SSP5-8.5 – «парниктік газдар шығарындылары өте жоғары», болашақ даму жолдары ауқымының жоғары шекарасын білдіреді.

## БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

Диссертация жұмысында келесі белгілер мен қысқартулар берілген:

|        |   |                                                                                                                                     |
|--------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| БҰҰ    | — | Біріккен Ұлттар Ұйымы                                                                                                               |
| ДМҰ    | — | Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым                                                                                                   |
| ЖҚЗ    | — | Жерді қашықтықтан зондылау                                                                                                          |
| КӨНК   | — | Климаттың өзгеруі туралы негіздемелік конвенциясы                                                                                   |
| ҰГМК   | — | Ұлттық гидрометеорологиялық қызмет                                                                                                  |
| NASA   | — | Ұлттық аэроавиатика және ғарыш басқармасы                                                                                           |
| MODIS  | — | Орташа ажыратымдылықтағы бейнелеу спектрорадиометрі-жер мен климатты өлшеу үшін қолданылатын спутниктік сенсор                      |
| IPCC   | — | Климаттың өзгеруі жөніндегі үкіметаралық топ                                                                                        |
| CMIP6  | — | Модельдерді біріктірілген салыстырмалы талдау жобасы                                                                                |
| ISIMIP | — | Әсер ету модельдерін сектораралық салыстыру жобасы                                                                                  |
| SSP    | — | Жалпы әлеуметтік-экономикалық траекториялар                                                                                         |
| GFDL   | — | АҚШ-тағы NOAA геофизикалық сұйықтық динамикасы зертханасында жасалған атмосфера мен мұхиттың жалпы айналымының біріктірілген моделі |
| IPSL   | — | Пьер-Симон Лаплас институтында жасалған IPS-сmbе-LR жаһандық климаттық моделі                                                       |
| MPI    | — | Макс Планк институтының жер жүйесінің моделі                                                                                        |
| MRI    | — | Метеорологиялық ғылыми-зерттеу институты Жер жүйесінің моделі                                                                       |
| UKESM  | — | Ұлыбританияның жер жүйесінің моделі                                                                                                 |
| NSE    | — | Нэш-Сатклифф моделінің тиімділік коэффициенті                                                                                       |
| RMSE   | — | Орташа квадраттық қателік                                                                                                           |
| RSR    | — | RMSE-бақылаулардың стандартты ауытқу коэффициенті                                                                                   |
| PBIAS  | — | Пайыздық қателік                                                                                                                    |
| ГАЗ    | — | Геоақпараттық жүйелер                                                                                                               |

## КІРІСПЕ

**Зерттеу тақырыбының өзектілігі.** Қар жамылғысы – климаттық, гидрологиялық және гляциологиялық үдерістердің өзара әрекеттесуіне әсер ететін күшті климат түзуші фактор. Сонымен қатар, қар жамылғысы – жер бетінің жылу және су балансын анықтайтын табиғи факторлардың бірі.

Құрамында ылғалдың үлкен қоры бар қар жамылғысы – жаһандық су айналымының маңызды бөлігі бола отырып, еріген қар жамылғысы өзен ағынының көлемі мен өзгергіштігіне негізгі үлес қосады, сондықтан қар жамылғысы туралы мәліметтер ылғалды бағалауда, ағындыны есептеуде және су тасқынын болжауда климаттық және болжамды сандық модельдердің параметрлері ретінде қолданылады.

Гидрометеорологиялық болжауды жақсарту мақсатында қар жамылғысының сипаттамалары туралы ақпаратты жинау маңызды. Қар жауумен, ерумен және оның түсуімен байланысты қар жамылғысының ұзақ уақыт бойы сипаттамаларының динамикасын алдын-ала қысқа, орта мерзімге болжау экономиканың бірқатар салаларына (көлік, құрылыс, электр энергетикасы, коммуналдық қызметтер) метеорологиялық қызмет көрсету кезінде және ұзақ мерзімге болжау елдің экономикасы мен қауіпсіздігінің тұрақты дамуында стратегиялық шаралар дайындауда маңызды. Бұл қажеттіліктер әсіресе соңғы онжылдықтардағы климаттың жаһандық өзгеруі мен заманауи кезеңдегі антропогендік ықпалға байланысты климаттың болашақ өзгерістері кезеңінде өзекті мәселеге айналуға. Себебі, климаттың өзгеруі қоғамның экологиялық, табиғатты қорғау, қоғамдық-саяси және әлеуметтік-экономикалық әлеуетінің түрлі құрамдас бөліктеріне әсер ететін жаһандық ауқымдағы мемлекетаралық кешенді қауіп төндіретін мәселе болып табылады.

Дүниежүзілік метеорологиялық ұйымның мәліметі [1] бойынша соңғы онжылдықтар әрбір алдыңғы онжылдыққа қарағанда жылы болып табылады. Сонымен қатар, 2022 жылғы жаһандық орташа ау температурасы индустриалды кезеңге дейінгі 1850-1900 жж. кезеңіне қатысты 1,15 °C-қа жоғары және 1850-2022 жж. кезеңіндегі бесінші және алтыншы жылы жыл болды.

Климаттың жаһандық өзгеруі кезеңінде қар жамылғысының уақыттық-кеңістіктік өзгеруін зерттеу және болашақтағы өзгеру сипатын білу өз кезегінде қолайлы факторларды барынша пайдалануға және теріс әсерді азайтуға мүмкіндік береді, осылайша елдің экономикасы мен қауіпсіздігінің тұрақты дамуына ықпал етеді [2,3].

Қазақстан Республикасының аймағы, оның ішінде республикамыздың солтүстік және орталық өңірлері, климаттың өзгеруі салдарынан азық-түлік пен су ресурстары қолжетімділігіне байланысты бірегей қиындықтарға тап болуы мүмкін. Осы орайда, су ресурстарын қалыптастырушы негізгі фактор және ауыл шаруашылығында көктемгі топырақ ылғалдылығын анықтаушы фактор ретінде қар жамылғысы ылғал қорын зерттеу маңыздылығы туындайды.

Қазақстан аумағы үшін қар жамылғысының негізгі сипаттамаларының уақыттық және кеңістіктік өзгеруін зерттеу Н.В. Пиманкинаның [4,5,6],

Г.К. Турулина және т.б. [7], В.Г. Сальниковтың [8], М.М. Молдахметовтің [9], А.М. Кауазовтың [10], К.Т. Елеуованың [11] жұмыстарында қарастырылған.

Қар жамылғысының көпжылдық өзгергіштігі [12,13] жұмыстарында зерттеліп, ерте түсу үрдісі байқалатыны анықталған.

Қазақстан аумағы үшін қар жамылғысының өзгеруін заманауи әдістердің – Жерді қашықтықтан барлау мәліметтері негізінде зерттеу А.М. Кауазовтың [14,15,16], А.Г. Тереховтың [17,18,19,20] жұмыстарында қарастырылған.

Алайда, жүргізілген зерттеу жұмыстарында қар жамылғысының орнатылу, еру және оның биіктігінің өзгеруі қарастырылған, ал қар жамылғысы ылғал қорының кеңістіктік-уақыттық өзгеруі мен оны модельдеуге көп көңіл бөлінбеген. Сонымен бірге, ұсынылған деректер 2015 жылға дейінгі кезеңмен шектеледі.

Осылайша, диссертациялық зерттеу жұмысының өзектілігі қар жамылғысы ылғал қорының уақыттық-кеңістіктік өзгеруі туралы ақпараттарды ұзақ мерзімге алу қажеттілігімен, адам қызметінің барлық салаларының тиімді жұмысын қамтамасыз ету мүмкіндігі үшін климаттық өзгерістер жағдайындағы оның динамикасын зерттеумен анықталады, бұл әсіресе республиканың орталық және солтүстік өңірінде орналасқан Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптарының су ресурстарын тиімді басқару және халықты, экономиканы тұрақты сумен қамтамасыз ету саясатын құру үшін маңызды.

Зерттеу жұмысының өзектілігі сонымен бірге Қазақстан Республикасының 2021-2025 жылдарға арналған «Ұлттық қауіпсіздік стратегиясында» [21] өзекті бағыттары – азық-түлік, су қауіпсіздігін басымдылыққа алумен және ҚР Экологиялық кодексінің 313-бабында [22] мемлекеттік басқарудың мақсаттары, басым салалары және климаттың өзгеруіне бейімделудің негізгі қағидаттарына сәйкес климаттың өзгеруіне бейімделу климаттың өзгеруі салдарынан адам денсаулығына, экологиялық жүйелерге, қоғам мен экономикаға қолайсыз салдарлар мен залалдардың алдын алу және азайту, климаттың өзгеруіне осалдығын азайту, сондай-ақ климаттың өзгеруіне байланысты қолайлы мүмкіндіктерді пайдалануды қамтамасыз етумен анықталады.

**Диссертациялық жұмыстың мақсаты** – қазіргі климаттың өзгеру кезеңіндегі қар жамылғысының ылғал қорының кеңістіктік-уақыттық таралуын және заманауи, болашақтағы өзгеру динамикасын зерттеу.

Қойылған мақсатқа жету үшін диссертациялық жұмыста келесі **зерттеу міндеттері** айқындалған:

- Аумақтың климаттық ерекшеліктері мен қазіргі климаттық өзгерістерін бағалау;
- Қар жамылғысының ылғал қорының динамикасын, кеңістіктік және уақыттық өзгерістерін зерттеу;
- MODSNOW моделін қолдана отырып, қар жамылғысының ылғал қорын модельдеу;
- Болашақ климаттың өзгеру сценарийлері негізінде қар жамылғысының ылғал қорының өзгеру динамикасын бағалау

**Зерттеу нысаны:** Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алаптары.

**Зерттеу пәні:** қар жамылғысының ылғал қорының өзгеру динамикасы.

**Зерттеу деректері** – мұрағаттық және қор мәліметтері (ауа температурасы, атмосфералық жауын-шашын, қардың биіктігі, тығыздығы, қар жамылғысының ылғал қорлары, көктемгі су тасқыны ағынының көлемі) ҚР ЭТРМ "Қазгидромет" РМК, жерді қашықтықтан зондтау деректері (NOAA), соның ішінде Terra Climate, WFE5 реализ деректері, сондай-ақ CMIP6 фазасының ISIMIP проекциялық жаһандық климаттық модельдер деректері (GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0, UKESM1-0-LL) жиынтығы.

**Зерттеу әдістері:** диссертацияда қолданылатын тәсілдер зерттеудің жалпы ғылыми және арнайы статистикалық әдістерін, эмпирикалық модельдеу әдісін қолдануға негізделген. Қар жамылғысының ылғал қорының өзгеруін салыстырмалы-сипаттамалық талдау үшін статистикалық, ең кіші квадраттар мен параметрлік емес Манн-Кендалл сынағына негізделген әдістер қолданылды. Ылғал қорларының кеңістіктік таралуын талдау үшін картографиялық әдістер қолданылады. Қар жамылғысының ылғал қорын модельдеу үшін эмпирикалық әдісіне ("градус-күн" әдісі) негізделген, Fortran тілінде бағдарламаланған, MODSNOW модулінің V03 модулі қолданылды. Нэш-Саттклиф (NSE) критерийі бойынша корреляция, детерминация және тиімділік коэффициенті, пайыздық қателік (PBIAS), орташа квадраттық қателік (RMSE), орташа квадраттық қатені нормалау (RSR) сияқты статистикалық критерийлерді қолдана отырып, модельдің деректерді өндіру дәлдігі бағаланды. Ылғал қорының болашақ өзгерістерін бағалау SSP1-2.6, SSP5-8.5 климаттың өзгеруінің екі сценарийі бойынша CMIP6 фазасының ISIMIP проекциясының деректеріне негізделген ансамбльдік болжау әдісімен жүзеге асырылады. Қар жамылғысының ылғал қорының болжамды деректері негізінде регрессиялық талдау әдісімен климаттың өзгеруінің SSP1-2.6, SSP5-8.5 екі сценарийі бойынша Есіл және Нұра өзендерінің көктемгі су тасқыны ағынының қабатының болашақ өзгерістерін бағалау жүргізілді.

**Ғылыми нәтижелердің жаңашылдығы:**

- 1971-2020 жылдары Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы аумағында қар жамылғысының ылғал қорының кеңістіктік-уақыттық өзгерістеріне жаңартылған бағалау жүргізілді;
- 1941-2021 жылдардағы сушаруашылығы алабы деңгейінде климаттың негізгі көрсеткіштерінің (ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері) өзгеруі, сондай-ақ қазіргі заманғы бағдарламалық құралдардың көмегімен 1976-2021 жылдардағы олардың трендтері анықталды;
- 1971-2020 жылдар кезеңінде қар жамылғысының ылғал қорының өзгеру динамикасы зерттелді;
- алғаш рет MODSNOW моделінің көмегімен қар жамылғысының ылғал қоры туралы деректер модельденді, 1980-2020 жылдардағы модельді калибрлеу және валидациялау жүргізілді;
- алғаш рет климаттың перспективалық өзгеруі негізінде ұзақ мерзімді кезеңге қар жамылғысының ылғал қорының өзгеруі бағаланды.

**Зерттеудің теориялық және тәжірибелік маңыздылығы:** қазіргі және болашақта климаттың өзгеруі жағдайында қар жамылғысының ылғал қоры туралы жаңа ғылыми білім мен мәліметтер алуында.

Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы аумағындағы қар жамылғысындағы ылғал қорларын зерттеудің ғылыми-практикалық маңыздылығы олардың климаттық режимге, су ресурстарына әсерімен байланысты, өйткені бұл сушаруашылығы алаптарының су ресурстары Қазақстан аумағында ғана қалыптасатындардың қатарына жатады, неғұрлым дамыған ауыл шаруашылығы саласы, әсіресе астық секторы, экологиялық тұрақтылық және бейімделу климаттың өзгеруіне, бұл елдің тұрақты дамуы үшін де, халықтың әл-ауқатын қамтамасыз ету үшін де маңызды.

Зерттеу нәтижелері су және азық түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында климаттың өзгеруіне бейімделудің тиімді шараларын дайындау мақсатында пайдаланылуы мүмкін.

#### **Қорғауға шығарылатын тұжырымдар:**

- Климаттың өзгеруін талдау нәтижесінде зерттелетін бассейндердегі маусымдық және жылдық ауа температурасының статистикалық маңызды ұлғаюы анықталды. Ең үлкен өсім жылдың көктемгі және қысқы маусымдарында болады, бұл тұрақты қар жамылғысының пайда болу және жойылу күндеріне әсер етеді. Сондай ақ зерттелетін бассейндер аумағында қысқы жауын шашынның статистикалық маңызды өсуі анықталды;

- Көпжылдық деректер негізінде зерттелетін аумақтардағы әрбір станция үшін қар жамылғысындағы су қорының нормалары анықталды. Нәтижесінде Есіл сушаруашылығы алабында ылғал қорының кеңістікте бөлінуінде оның ең жоғары мәндері Көкшетау төбесінің батыс беткейлерінде, Жабай және Қалқутан өзендері бассейндерінің аудандарында, ең төменгі мәндері – Ақмола облыстарының Солтүстік Қазақстан және шығыс бөлігінің жазық аудандарында байқалатыны анықталды. Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында қар жамылғысының таралуы ендік заңдылықтарға бағынады, алайда Сарысу өзенінің қалыптасуы аумағында заңдылық бұзылады;

- Есіл, Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы аумақтарында қар жамылғысының су қорын ұлғайту үрдісі анықталды. Есіл сушаруашылығы алабында аумақтың батыс бөлігінде уақытша өзгерістер үрдістерінде статистикалық маңызды өсім, ал солтүстік бөлігінде олардың азаюы анықталды. Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының оңтүстік бөлігінде төмендеу үрдісі байқалады, алайда бассейннің солтүстік бөлігінде Қарағанды АШТС станциясында статистикалық маңызды төмендеу үрдісі байқалады, ал қалған бөлігінде шамалы өсу, статистикалық маңызды өсу үрдісі солтүстік-шығыс бөлігінде байқалады. Бұл өзгерістер Фишердің F-тарату критерийі бойынша есептеулермен, сондай-ақ параметрлік емес Ман-Кендалл тестінің нәтижелерімен расталады.

**Ғылыми жұмыстағы автордың үлесі.** Жұмыстың барлық талданған нәтижелерін ізденуші жеке өзі алды, олар диссертациялық зерттеудің міндеттерін шешуде:

-1971-2020 жылдардағы Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы аумағындағы ылғал қоры, қар жамылғысының биіктігі туралы деректерді жинауда;

- жоқ деректерді қалпына келтіруде;

- қазіргі климаттың өзгеруі жағдайында қар жамылғысының ылғал қорының кеңістіктік-уақыттық өзгерістеріне сапалық, сандық талдау және бағалау жүргізуде;

- Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы аумағында климаттың болашақ өзгеруі жағдайында модельдеуде;

- ISIMIP проекциясының жаһандық модельдері негізінде қар жамылғысы ылғал қорының болашақ өзгерістерін бағалауда;

- жүргізілген зерттеу тақырыбы бойынша алынған ғылыми нәтижелерді дайындауда және жариялауда. Ғылыми мақалалардың негізгі ережелері PhD ғылыми дәрежесін алу үшін диссертацияның бөлімдерінде көрсетілген.

### **Жұмыстың апробациясы.**

Диссертация жұмысының негізгі қағидалары мен зерттеу нәтижелері Қазақстанда және шетелде өткен халықаралық конференцияларда баяндалды және талқыланды:

- «Анализ динамики изменения влагозапасов снежного покрова на территории есильского бассейна» // «Фараби әлемі» атты студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференциясы, серия географии, 2021 г., 91 с.;

- «Terra Climate реанализ деректерінің қар жамылғысы ылғал қоры мәліметтерінің қолданылуы туралы» // «ФАРАБИ ӘЛЕМІ» атты студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференция материалдары Алматы, Қазақстан, 2023 жылдың 6-8 сәуірі.

### **Жарияланымдар.**

Жұмыстың негізгі нәтижелері мен қорытындылары отандық және шетелдік ғылыми басылымдарда 10 мақала түрінде жарық көрді. Оның ішінде 3 мақала ҚР БҒМ-нің ғылым саласындағы бақылау комитетінің тізіміне енген «Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов» журналында және Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты» ғылыми журналында, «Гидрометеорология және экология» журналында; 4 мақала Scopus базасында тіркелген «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», MDPI «Water» журналында, 2 мақала халықаралық конференциялар материалдарында және 1 мақала ғылыми баспада жарық көрген.

### **Диссертацияның ауқымы мен құрылымы.**

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 тараудан, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады. Жалпы диссертациялар жұмыс 147 беттен, 20 кестеден, 55 суреттен, 177 қолданылған әдебиеттен, 3 қосымшадан тұрады.

**Бірінші** тарауда қар жамылғысын бақылау саласындағы ғылыми әдебиеттерге шолу, қар жамылғысын зерттеу, қар жамылғысын зерттеудің даму

тарихы, жаһандық климаттың өзгеруі жағдайында қар жамылғысының өзгеру тенденцияларындағы заманауи өзгерістер көрсетілген.

**Екінші** тарауда Қазақстанның жаһандық климаты мен климатының өзгеруі саласындағы ғылыми әдебиеттерге шолу ұсынылған. 1941 жылдан бастап қазіргі уақытқа дейін «Қазгидромет» РМК бақылау желісінің метеорологиялық станциялары бойынша ауа температурасы мен атмосфералық жауын-шашынның өзгеру нәтижелері ұсынылды. Орташа жылдық ауа температурасының статистикалық маңызды тұрақты өсуі анықталды. Маусымдық таралу кезінде температураның статистикалық маңызды көтерілуі жылдың көктемгі және күзгі маусымдарында екі су шаруашылығы бассейнінде де болады. Жауын-шашынның статистикалық шамалы өзгеруі де анықталды..

**Үшінші** тарауда 1971-2020 жылдардағы зерттелетін аумақтардағы ылғал қорының өзгеру динамикасының нәтижелері, ең кіші квадраттар әдісімен және Манн-Кендаллдың параметрлік емес сынағымен бағаланған ылғал қорының трендтерінің өзгеруін талдау, статистикалық маңызды өзгерістер анықталды. Қалыптасқан және жойылған күндердің кеңістіктік-уақыттық өзгергіштігін, қар жамылғысының пайда болу ұзақтығын және тұрақты қар жамылғысының пайда болуы мен жойылу күндерінің кейбір ауысуларын талдау келтірілген. Сондай-ақ, ылғал қорларының өзгеруінің статистикалық сипаттамаларының нәтижелері, ылғал қорлары бойынша Жылдың қарлығын анықтау ұсынылған.

**Төртінші** тарауда 1980-2021 жылдардағы MODSNOW моделін қолдана отырып, қардағы ылғал қорын калибрлеу және тексеру нәтижелері келтірілген. тиімділікті бағалау Нэш-Саттклиф (NSE) критерийі бойынша корреляция, детерминация және тиімділік коэффициенті ретінде статистикалық критерийлерді қолдану арқылы жүзеге асырылады, пайыздық қате (PBIAS), орташа квадраттық қате (RMSE), нормалау орташа квадраттық қате (RSR). Климаттың өзгеруінің екі сценарийі: SSP1-2.6 және SSP5-8.5 бойынша CMIP6 фазасының ішіміз проекциясының деректеріне негізделген ансамбльдік болжау әдісімен ылғал қорының болашақ өзгерістерін бағалау жүргізілді, бұл қар жамылғысының ылғал қорының күтілетін төмендеуін көрсетті.

**Қорытындыда** диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері келтірілген.

# **1-ТАРАУ. ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ МОНИТОРИНГІ МЕН МОДЕЛЬДЕУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ТУРАЛЫ ЖАЛПЫ МӘЛІМЕТТЕР**

## **1.1 Қар жамылғысы және оның сипаттамалары**

Қар жамылғысы климатқа әсер ететін негізгі экологиялық көрсеткіш болып табылады, оның шағылыстырғыштығы жоғары және жылу өткізгіштігі төмен, қар жердің энергетикалық балансының негізгі элементі болып табылады [23]. Қар жамылғысы, сонымен қатар су балансының маңызды элементі болып табылады, Жер планетасы халқының алтыдан бір бөлігі маусымдық қар жамылғысы мен мұздықтардың еруі арқылы қоректенетін өзендерге тәуелді. Жер бетіне қар жауған кезде оның рельефі, құрылымы, эрозияға ұшырауы және ең бастысы альбедо өзгереді. Құрғақ және таза қармен жабылған бет күн радиациясының 80% - на дейін көрсетеді [24]. Осылайша, қардың түсуі климатқа, флора мен фаунаға, жер беті мен атмосфера арасындағы энергия алмасуға үлкен әсер етеді, ал қар қорының жинақталу динамикасын есепке алу сандық болжау әдістерінің дәлдігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, маусымдық қар жамылғысы біздің планетамыздың көптеген аймақтарында көктемгі су тасқынының пайда болуына әсер ететін гидрологиялық циклдің негізгі компоненттерінің бірі болып табылады [25,26]. Қар жамылғысының әсері әсіресе жоғары ендіктерде және жыл бойы қар жауатын тауларда қатты әсер етеді [27].

Қар жамылғысы қатты жауын-шашынның тұндыру процесінде топырақта қардың жиналуы, жауын-шашынның көп бөлігі кейіннен қатып қалған кезде жауын-шашын, сондай-ақ қоспалардың шөгінділері нәтижесінде пайда болады. Айта кету керек, маусымдық қар жамылғысы климаттың өзгеруіне өте сезімтал. Сонымен қатар, климаттық факторлардың әсерінен қар жамылғысының өзгеруі атмосфераның даму динамикасына, мәңгі мұздың таралуына, экожүйелердің динамикасына және қар жамылғысымен байланысты қауіпті табиғи құбылыстардың жиілігіне айтарлықтай әсер етуі мүмкін.

Қар жамылғысында жүретін процестердің көпшілігі қардың микроқұрылымына байланысты оның физикалық қасиеттерінің тік және көлденең таралуына байланысты [28]. Қар жамылғысының тән ерекшелігі – оның барлық қасиеттерінің кеңістіктік-уақыттық өзгергіштігі (қалыңдығы, тығыздығы, температурасы, қаттылығы, құрылымы, стратиграфиясы және геометриялық сипаттамалары және т.б.).

Қар жамылғысының пайда болуы жергілікті жердің физико-географиялық жағдайлары мен климаттық шарттарға байланысты.

Тұрақты қар жамылғысы жазық аудандарда қалыптасады. Жазық жер бедері жағдайында қар жамылғысының таралуы өсімдіктің сипатымен анықталады. Қардың көп бөлігі биік сабанда, бұталарда, орман шеттерінде ұсталады. Орманды аймақтарда олардың азаюы бақылануы мүмкін. Ол ағаш тәждерінің түскен қардың бөлігін ұстап қалып, жер бетіне жетпей булануымен түсіндіріледі.

Жер бедері неғұрлым бөлектенген болса, соғұрлым қар жамылғысы біртекті таралады. Оның біртекті таралуы биік таулы аймақтарға тән.

Қар жамылғысының жағдайына әсер етуші негізгі климат қалыптастырушы факторларға ауа температурасы, ылғалдылық, жел, жауын-шашын мөлшері жатады. Әрбір аталған фактор қар жамылғысының биіктігі мен оның ылғал қорына әрүрлі әсерін тигізеді. Сұйық жауын-шашынның әсерінен қар жамылғысы тығыздалады, биіктігі төмендейді де, тығыздығы артады. Ал қатты жауын-шашын қар жамылғысының биіктігін арттырып, тығыздығын төмендетеді.

Желдің әсерінен қар жамылғысының таралуы үздіксіз өзгеріске ұшырайды, мәселен бір жерлерде қардың үйіндісі байқалса, енді басқа аймақтарда керісінше жер беткейі қардан тазарады. Желдің әсерінен қар жамылғысы тек тасымалданып қана қоймайды, сонымен бірге тығыздалады.

Ауа температурасының әсерінен қар жамылғысының биіктігі, тығыздығы ғана емес, сонымен бірге құрылымы да өзгеріске ұшырайды. Оң таңбалы температура жағдайында қар жамылғысы ылғалды, едәуір тығыз және боранды тасымалдануға ұшырамайды. Ал төменгі теріс температураларда жаңа түскен қар әдетте құрғақ, жеңіл және шамалы жел жылдамдығында қар жамылғысының біртекті таралуын қамтамасыз етіп, тасымалданатын болады.

Ғылыми ортада қар жамылғысын зерттеу пәнаралық зерттеу саласы болып саналады, ол қар жамылғысына және оны зерттеудің әртүрлі аспектілеріне арналған көптеген кітаптарда көрінеді [29,30]. 1948 жылы халықаралық мұз және қар комиссиясы ғылыми гидрология қауымдастығы (IAHS) Халықаралық қар классификациясы жүйесін стандарттау жөніндегі арнайы комитет құрды. Комитет жұмысының нәтижесінде 1954 жылы «Мұз бен қардың халықаралық классификациясы» жарияланды [30]. Уақыт өте келе қар жамылғысында болып жатқан процестер туралы білім тереңдей түсті, ал әр түрлі елдердегі бақылау тәжірибесі әр түрлі бола бастады, осыған байланысты 1985 жылы IASH комитетті қайта құрды. Комитет құрылғаннан кейін бес жыл өткен соң, қар жамылғысының қайта қаралған және жаңартылған классификациясы шығарылды [31]. Қазіргі уақытта 2009 жылы қабылданған қар жамылғысының классификациясы бар, оған өзгертулер мен толықтырулар енгізілді [30].

Қар жамылғысының қасиеттерін зерттеу және оны модельдеу Қазақстан территориясы үшін дәстүрлі міндет болып табылады [32,33], өйткені еліміздің аумағы көп бөлігі маусымдық қар жамылғылы, ал биік таулы аймақтары тұрақты қар жамылғылы аймаққа [34] жатады. Қазақстан аумағында қар бірнеше аптадан бірнеше айға дейін байқалады, ал қар жамылғысы бар күндердің ең көп саны солтүстік аймақтарына тән [7].

## **1.2 Қар жамылғысын зерттеу тарихы**

Қартану негіздері 1891 жылдан бастап Ресейде қар өлшеу түсірілімдері жүргізіле бастауымен А.И. Воейковпен қаланды. А.И. Воейков [32] алғаш рет қоршаған ортада қар жамылғысының маңыздылығын және оның климатқа, ауа-райына, су ресурстары мен ауыл шаруашылығына әсерін көрсетті. Сонымен

қатар, алғаш рет қар жамылғысына бақылау жүргізудің тәсілдерін енгізіп, бақылау желілерін ұйымдастырды. Басқа мемлекеттерде бақылау жүргізу кейіннен: АҚШ-та 1910 жылдан, Жапонияда – 1948 жылдан бастау алды. XIX ғ. Ресейде қар басу мәселелері зерттеліп, боран теориясы дами бастады. Одан әрі XX ғ. 30-40 жылдары қар жамылғысын зерттеудің негізгі міндеті гидрологиялық болжамдарды қамтамасыз ету болды, қар қорының аумақтық таралуы, оның еруі зерттелді [23].

Қар мелиорациясының ғылыми негіздерін құру мақсатында Г.Д. Рихтер [33] қар жамылғысын режимі бойынша аудандастыруды ұсында. Ал 50-60 жж. борандардың механизмін зерттеуде үлкен үлесін А.К. Дюнин [35,36] енгізді. XX ғ. 70-80 жылдары қар жамылғысын зерттеу жұмыстары Мәскеу мемлекеттік университетінде, Саратовск ауыл шаруашылығы институтында, Солтүстік Қазақстандағы астық шаруашылығы институтында, А.И. Воейков атындағы МГО жүргізіле бастады. Қар жамылғысын зерттеу жұмыстары И.Д. Копаев [24], В.М. Котляковпен [37] жүргізілді.

Қар жамылғысын зерттеу жұмыстарының тарихын Colbeck [38] 4 кезеңнен тұратындығын көрсетеді:

- 1900 жылға дейінгі кезең – көптеген алғашқы құралдар мен концепциялар әртүрлі ғылым салаларында қолдануға ойлап табылды;

- 1900-1936 ж.ж. кезеңі – қар жамылғысына көптеген бақылау жұмыстары жүргізілді. Дәлел ретінде Сьерра-Невадада жүргізілген қар жамылғысының қорын өлшеу жұмыстарын келтіруге болады. Бұл кезеңдерде Church [39], Pauckle [40], Seligman [41] секілді ғалымдардың еңбектері жарық көрді;

- 1936-1970 ж.ж. кезеңі – қар жамылғысын зерттеу жұмыстарын жүргізу мақсатында арнайы зерттеу лабораториялары, мемлекеттік ұйымдар мен институттар құрылып, физикалық модельдердің пайда болуына алып келді. Бұл кезеңде de Querivain, Дюнин, Yosida сынды ғалымдардың еңбектері шықты. Сонымен қатар, Германияда Беккердің [42], Солтүстік Америкада де Кервеннің [43], Швейцарияда Джонсон мен Бадердің [44], Канадада Лагеттің [45], КСРО-да Рихтердің [46] еңбектері қар жамылғысын зерттеу саласының дамуына дәлел бола алады. Осы кезеңде Кеңес одағында Кузьмин [47] қар жамылғысын зерттеуде қарқынды жұмыстар жүргізді;

- 1970 жылдан кейінгі кезең – қар жамылғысын физикалық тұрғыдан зерттеу мақсатында модельдердің жетілдірілген түрлерінің пайда болған кезеңі.

### **1.3 Қар жамылғысын зерттеу әдістері**

#### **1.3.1 Жер беті деректері бойынша қар жамылғысының мониторингі**

Қар жамылғысын сипаттаушы негізгі көрсеткіштер болып оның биіктігі мен тығыздығы табылады. Қардың биіктігі мен тығыздығын біле отырып, қар жамылғысындағы ылғал қорын анықтауға болады.

Қар жамылғысы сипаттамаларын анықтау үшін ДМҰ ұсынысы бойынша Қазақстан территориясы аймағында метеорологиялық бақылау станциялары мен бекеттері желісінде келесі бақылаулар жүргізіледі [48]:

- Метеорологиялық алаңдағы күнделікті бақылаулар;

- Қар өлшеуіш маршруттары бойынша кезеңдік қар түсірілімдері (бес күндік немесе онкүндік).

Күнделікті бақылаулар қар жамылғысының биіктігін үш тұрақты қар өлшеуіш рейкалардың көмегімен және көріну аймағында қар жамылғысының жабу деңгейін анықтаумен (қардың жату деңгейі баллмен) жүргізіледі.

Кезеңдік қар түсірілімдері қоршаған аймаққа тән тұрақты маршруттармен жүргізіледі. Күнделікті бақылауларға қарағанда маршрутты бақылауларда қар жамылғысының көптеген сипаттамаларына бақылау жүргізіледі. Қар жамылғысы түсірілімдері келесі сипаттамаларға бақылау жасауды қамтиды:

- Қар жамылғысының биіктігін маршруттың 100 (немесе 50) нүктелері бойынша (орташасын есептеу, максималды және минималды биіктігін) өлшеу;
- маршруттың және қоршаған аймақтың қармен жабу деңгейі;
- қардың тығыздығын өлшеу;
- топырақтың мұз қабатының қалыңдығын 10 нүктеде өлшеу, маршруттың мұз қабатымен жабу деңгейін анықтау;
- сумен қаныққан қар қабатын өлшеу; қар астындағы су қабатын өлшеу;
- қар жамылғысы беткейінде немесе ішінде қар қабығының (корка) болуын анықтау;
- қар жамылғысындағы ылғал қорын анықтау.

Жоғарыда аталған барлық сипаттамалар негізінде қар жамылғысының тұрақты қар жамылғысы, қар жамылғысының пайда болуы мен бұзылу күндері көрсеткіштері анықталады.

### **1.3.2 Жерсеріктік бақылаулар**

Қашықтықтан зондтау әдістері кез-келген объектінің табиғатының ерекшеліктеріне сәйкес электромагниттік энергияны шығаратындығына және шағылыстыратындығына негізделген. Толқын ұзындығы мен сәулелену қарқындылығындағы айырмашылықтарды қашықтағы объектінің қасиеттерін онымен тікелей байланыссыз зерттеу үшін пайдалануға болады.

Жерді қашықтықтан зондтау түрлері (ЖҚЗ) өте кең: суретке түсіру, сканерлеу, радиолокациялық түсірілім, жылу түсірілімдері, спектрометриялық түсірілім, лидар түсірілімі, ғарыштық суреттер.

Түрлердің алуан түрлілігінің ішінде ғарыштық суреттер осы жұмыстың міндеттеріне үлкен қызығушылық тудырады. Ғарыштан ЖҚЗ-түсірілім аппаратурасының әртүрлі түрлерімен жарактандырылған ғарыш құралдарымен жер бетін бақылау. Түсірілім аппаратурасы қабылдайтын толқын ұзындығының жұмыс диапазоны МКМ үлесінен (көрінетін диапазон) метрге дейін (Радио диапазоны) құрайды. ЖҚЗ әдістері пассивті болуы мүмкін, яғни объектілердің табиғи шағылысқан немесе жылу сәулеленуін қолдана отырып, ал белсенді - бағытталған әрекеттің жасанды көзі бастаған объектілердің мәжбүрлі сәулеленуін қолдана алады. Түпкі мақсат-қабылданған сәулеленудің сипаттамалары бойынша астыңғы беттің сипаттамаларын қалпына келтіру.

Жерді ғарыштан зерттеу құралдары мен әдістерінің, ғарыштық деректерді өңдеудің бағдарламалық кешендерінің қазіргі даму деңгейі және ГАЖ-ның кең

таралуы аумақтардың, объектілердің жай-күйі, олардың өзгеру процестері мен динамикасы туралы сапалы жаңа ақпарат алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, кешенді зерттеулер, талдау және табиғи ортаны тиімді басқару үшін жаңа әдіснамалық жүйелік тәсілдер қажет.

Спутниктік деректердің бірқатар артықшылықтары бар екені белгілі:

Біріншіден, жер бетінің жай-күйі туралы қажетті ақпаратты жер үсті әдістерімен алу әрдайым мүмкін емес, айтарлықтай қаржылық шығындар мен деректерді жинаудың ұзақ мерзімдерін қажет етеді. Спутниктік деректер ең арзан, жедел және қол жетімді ақпарат көздерінің біріне айналуда.

Екіншіден, спутниктік ақпарат дәлдікпен, сенімділікпен және объективтілікпен ерекшеленеді. Шын мәнінде, спутниктік деректер, спутниктен жердің суреттері-бұл алу технологиясы жалған мүмкіндікті жоққа шығаратын құжаттар. Сондықтан спутниктік ақпарат өте құнды және сұранысқа ие.

Үшіншіден, Жерді ғарыштық бақылау ауқымдылығымен ерекшеленеді. Спутниктік аппараттарға орнатылған түсірілім аппаратурасы егжей-тегжейлі кең аумақтардың спутниктік деректерін (суреттерін) қамтамасыз ете алады. Спутниктік деректердің үлкен артықшылығы-олар үшін мемлекеттік немесе әкімшілік шекаралар жоқ. Сондықтан түсірілім үшін ешқандай рұқсат қажет емес.

Қашықтықтан зондтау деректері бойынша еру кезеңінде қар жамылғысының динамикасын бақылау ауа райының өзгеруіне байланысты өте қиын міндет болып табылады [49]. Күзгі және көктемгі кезеңдерде NOAA\_AVHRR сенсорымен алынған деректердің шамамен 44%-ы тығыз бұлттылыққа байланысты пайдаланылмады [50]. Қалған деректердің кем дегенде жартысы бұлт іздерінің болуына байланысты белгілі бір дәрежеде ақпаратсыз болды. Осылайша, кескіннің ерікті элементі үшін төрт немесе бес күннің бір ғана көрінісі кейінірек талдау үшін сенімді ақпаратты алып жүреді, бұл күндер біркелкі бөлінбейді. Сәтті оптикалық суреттер үшін жер үсті метеостанцияларының деректерімен салыстыру қалың қар жамылғысымен жабылған аумақты есептеудің жоғары (шамамен 95%) дәлдігін көрсетті. Қар жамылғысының төмен биіктігінде (5 см-ден аз) оптикалық диапазондағы қашықтықтан зондтау деректері бойынша зерттелетін аумақта қардың болуы қатемен анықталады, ол неғұрлым жоғары болса, соғұрлым биіктігі аз болады. Радиолокациялық деректер ылғалды (еріген) қарды анықтауға жарамды.

Жоғарыда аталғандай, қар жамылғысының кеңістіктік таралуы туралы ақпарат су ресурстарының климаттық өзгергіштігін бағалау үшін, сондай-ақ қар басым аймақтардағы гидрологиялық модельдерді калибрлеу және тексеру үшін маңызды. Нақты уақыт режимінде алынған қар жамылғысы туралы мәліметтер қысқа мерзімді және маусымдық ағынды болжау үшін құнды болуы мүмкін. Мұндай ақпаратты жоғары дәлдікпен қашықтықтан зондтау әдістері арқылы алуға болады. 15 жылдан астам уақыт бойы қол жетімді қар жамылғысы туралы мәліметтері бар орташа ажыратымдылықтағы бейнелеу спектрорадиометрі (MODIS) қар жамылғысының ұзақтығын бақылау үшін пайдалы болуы мүмкін екендігі дәлелденді [51]. Бұл деректерді тек 2 күндік кідіріспен өңдеуге және

пайдалануға болады, бұл суды басқарудың көптеген мақсаттары үшін жеткілікті. Дегенмен, қашықтықтан зондтау деректерін өңдеу үлкен көлемдегі деректермен жұмыс істеу үшін білім мен есептеу дағдыларын қажет етеді. Сонымен қатар, MODIS сияқты оптикалық қашықтықтан зондтау кезінде бұлттылық деректердегі бос орындарға әкелуі мүмкін. Бұл шектеулер дамушы елдерде, әсіресе қар басым таулы аймақтарда су ресурстарын басқару үшін еркін таратылатын MODIS деректерін пайдалануға жол бермейді.

Осы мәселені шешу үшін [51] MODSNOW-Tool әмбебап бағдарламалық кешенін ұсынады. Ол MODIS бастапқы деректерін өңдейді және бұлтты жоюдың заманауи алгоритмдері арқылы бұлттылықты жояды. MODSNOW Tool-дің дайын нәтижесі – бұлтсыздықтың қар жамылғысының картасы және берілген өзен алаптары үшін кеңістіктік-уақыттық қар статистикасын қамтитын күнделікті есеп. MODSNOW моделінің бұлттылықты жою қар жамылғысы карталарының дәлдігі Орталық Азиядағы Қарадария өзенінің алабында іс жүзінде бұлтсыз 84 күн ішінде тексерілді және орташа дәлдік 94 %-ды құрайтынын көрсетті. MODSNOW-Tool құралын жедел және жедел емес режимдерде пайдалануға болады. Жұмыс режимінде бағдарлама жергілікті компьютерде жоспарланған тапсырма ретінде орнатылады, ол пайдаланушының қатысуынсыз автоматты түрде орындалады және күн сайын қар жамылғысының карталарын ұсынады.

MODSNOW-tool бағдарламасы Орталық Азия территориясы үшін қар жамылғысының жату ауданын, маусымдық сумен қамтамасыз етуді болжау [52;53;54;55,56], сонымен қатар [57] Орталық Азиядағы жер және су ресурстарын басқару бойынша негізделген шешімдер қабылдауда қолдануға болатыны көрсетілген.

Қазақстанда қар жамылғысының түсуін тұрақты түрде өртеу мониторингі 2000 жылдан бастап жүзеге асырылуда [16]. Жерді қашықтықтан зондтау (ДЗЗ) деректері бойынша қар жамылғысының маусымдық және көпжылдық мониторингі саласында белгілі бір нәтижелерге қол жеткізілді [14,15,17,18,19,20,58].

Жұмыста [59] қар жамылғысының ауданын бағалау үшін NASA (ағылш. National Aeronautics and Space Administration, Ұлттық аэроавтика және ғарыш басқармасы — NASA) NDSI өнімі түрінде (ағылш. Нормаланған дифференциалды қар индексі – нормаланған айырмашылық қар индексі) Terra/Aqua MODIS (ағылш. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) кеңістіктік 2000 жылдан 2022 жылға дейінгі наурыз–сәуір кезеңіне 1 км рұқсатпен [60] деректері пайдаланылды. Бұл өнім қазірдің өзінде қар жамылғысы алып жатқан аумақты есептеген қар жамылғысының бөлінген шекараларын қамтиды. Зерттеу нәтижелері қар жамылғысының ауданының өзгеруі әлі де маңызды емес – әр 10 жыл сайын шамамен 4 % және шамалы төмендейтінін көрсетті. Дегенмен, қар жамылғысының температурамен тығыз байланысын ескере отырып, болашақта қар жамылғысының ауданының қысқаруын күту заңды.

Сонымен қатар, жерсеріктік мәліметтерді қолдану мақсатында [20] жұмысында тәуліктік жаңаруы және кеңістіктік ажыратымдылығы 1 км болатын Snow Depth FEWS NET өнімі пайдаланылды. Зерттеу жұмысының нәтижесінде Snow Depth FEWS NET өнімі мен бақылау мәліметтерінің арасында үйлесімділіктің жақсы екендігін көруге болады. Аталған өнімнің Қазақстан территориясы үшін жақсы нәтижелер көрсететіндігі [19,61,62] жұмыстарында көрсетілген.

### **1.3.3 Реанализ мәліметтерін қолдану мүмкіндіктері**

Маусымдық қар жамылғысы – жер шарындағы климаттық, гидрологиялық және гляциологиялық процестердің өзара әрекеттесуінің маңызды буыны, ең көп таралған және серпінді табиғи объектілердің бірі. Бұл қуатты климаттық фактор және маңызды гидрологиялық ресурс болып табылады. Қазақстан Республикасында қар жамылғысы көктемде өзендердің қоректенуінің маңызды көзі болып табылады, осылайша көктемгі су тасқыны пайда болады. Еріген қар суының ағындысын ұзақ мерзімді болжауда пайдаланылатын қар жамылғысының маңызды сипаттамасы-су жинаудағы қардағы су қоры немесе қардың су эквиваленті (SWE). Қар жамылғысында ылғалды тігінен қайта бөлу ерекше маңызға ие. Оны анықтау үшін қар жамылғысының биіктігі және оның тығыздығы туралы ақпарат қажет. Маршруттық қар өлшеуіштерінің сирек тығыздығына және олардың дискреттілігіне байланысты көбінесе өлшеулердің жеткіліксіз мөлшерімен күресуге тура келеді.

Көптеген зерттеулер қар жамылғысының сипаттамаларын модельдеуге арналған. Қар жамылғысының модельдері мен сызбалары математикалық физика теңдеулерін қолдана отырып, қар жамылғысының қалыптасуы мен жойылу процесінің толық сипаттамасына да, қарапайым (эмпирикалық) қатынастарды қолдана отырып, осы процестердің тұжырымдамалық көрінісіне негізделген. Пайдаланылатын модельдің құрылымы бастапқы гидрометеорологиялық деректердің болуымен келісілуі тиіс. Қар жамылғысында болатын процестердің сипаттамасын қарапайым параметрлендіру ретінде қосуға болады, мысалы, атмосфера модельдерінің астындағы бет блоктарына немесе әртүрлі күрделілік деңгейіндегі тәуелсіз модельдерге кіруге болады.

Көптеген еңбектерде қар жамылғысының су эквиваленті (SWE) уақыт пен кеңістікте дәл өлшеу қиын. Екінші жағынан, қар жамылғысының биіктігі салыстырмалы түрде оңай өлшенеді және бақылаулар көбейіп келеді. Ультрадыбыстық құрылғылар қардың биіктігін өлшеуді автоматтандырудың үнемді әдісін ұсынады және соңғы жылдары өлшеу деректерінің саны айтарлықтай өсті [63].

Борттағы да, жердегі де қардың биіктігін бақылау олардың егжей-тегжейлі кеңістіктік қадамына байланысты сұранысқа ие бола бастады. Сондай-ақ, шағын су жинау жағдайларында қар жамылғысының даму динамикасын түсіну үшін қар жамылғысының биіктігінің өзгеруін түсіруге үлкен көңіл бөлінеді. Атқарылған жұмыстың нәтижесі қардың биіктігін өлшеу санының айтарлықтай өсуі болды, деректердің көпшілігі АҚШ аумағы үшін күнделікті дискреттілікке ие.

Шетелдік тәжірибеде SWE модельдеу мәселелеріне көп көңіл бөлінеді. Көптеген мысалдардың бірі – қар жамылғысының модельденген су баламасын бағалауға бағытталған Солтүстік Американың жер үсті деректер жинау жүйесіндегі (NLDAS) қар динамикасын модельдеу жобасы. Nldas жобасындағы зерттеудің бірінші кезеңінде қар жамылғысының модельденген көлемін бағалауға назар аударылады. Екінші кезеңде NLDAS-та бар жер бетінің төрт моделінен (NOAH, MOSAIC, SAC және VIC) модельденген SWE параметрлері бағаланады.

Франция мен АҚШ-та қардың профильдерін көлденең және тігінен анықтайтын және өлшеу нәтижелерін жер бетіндегі, радио немесе спутниктер арқылы негізгі станцияларға жіберетін телеметриялық радиоизотопты қар өлшегіш құрылғылардың әртүрлі модификациялары жасалды. *SNOTEL* жобасы аясында АҚШ-тың батыс бөлігінің таулы аудандарында қар жамылғысын бақылаудың арнайы телеметриялық желісі ұйымдастырылды [64]. Бұл жобаны іске асыру қар жамылғысының биіктігі туралы алынған ақпарат көлемін едәуір арттыруға мүмкіндік берді.

Nldas жобасының деректерімен телеметриялық бақылау деректерін салыстыру нәтижелері nldas модельдерінің таулы жерлерде SWE мәні төмен екенін көрсетті, өлшеу қателігі 1000 мм жетуі мүмкін. VIC моделімен [65] жүргізілген тәжірибелер SWE болжамындағы қатені жергілікті метеостанциялардан (жауын-шашын туралы мәліметтер) мәліметтерді қосымша есепке алу арқылы азайтуға болатындығын көрсетті. Nldas-тің қызықты ерекшелігі, қыста ауа температурасының төмендеуі және *SNOTEL* жазбаларымен салыстырғанда көктем мен жазда оны асыра бағалау, станцияның физика-географиялық орналасуы маңызды рөл атқарады. АҚШ-тың таңдалған станциясындағы егжей-тегжейлі талдау ауа температурасын мәжбүрлеудегі қателіктер жауын-шашынның қар жаууы мен модельдердегі жаңбырдың дұрыс емес болуына әкелуі мүмкін екенін көрсетеді, осылайша модельденген қар жамылғысының су эквивалентіндегі кейбір қателіктерді түсіндіруге болады.

Қар жамылғысының жай-күйі туралы деректерді алудың көзі спутниктік деректер болуы мүмкін [66]. Дегенмен, спутниктік деректерді түсіндіру үшін бағдарламалық жасақтаманы дайындау уақытты және көптеген қызметкерлерді қажет етеді. Сондықтан көптеген Еуропа елдері өз аумағындағы жағдайды талдау үшін халықаралық деректерді пайдаланады.

Сонымен, Швейцарияда қар жамылғысын объективті талдау көрінетін және инфрақызыл диапазондарда жұмыс істейтін *SEVIRI* кіріктірілген құрылғысы бар *Meteosat-8* геостационарлық спутнигінен ақпаратты пайдалануға негізделген. Ақпарат 15 минут аралықпен өңделеді, бұл бұлттар мен олардың көлеңкелерін төменгі бетінен бөлуге мүмкіндік береді. Осындай деректер негізінде жасалған талдау 95% дейін дәлдікті алуға мүмкіндік береді [67].

Норвегияның таулы аудандардағы қар жамылғысын бақылау тәжірибесі ерекше қызығушылық тудырады. Норвегияда қар жағдайларының күнделікті карталары 2004 жылдан бастап *SeNorge* қарлы моделін қолдана отырып жасалады [68]. *SeNorge* қар моделі  $1 \times 1$  км ажыратымдылықпен жұмыс істейді,

кіріс әсері ретінде тәуліктік температурасы мен жауын-шашыны бар торға байланыстырылған деректерді пайдаланады және басқалармен қатар қар жамылғысының су баламасының шамасын, қардың биіктігін (SD) және қардың массалық тығыздығын модельдейді.

Еуропа елдерінен Финляндияның осындай жобаларды құрудағы тәжірибесін атап өткен жөн. Мысал ретінде GlobSnow жобасын ұсынуға болады. Бұл жоба пайдаланушыларға Солтүстік жарты шардың аумағын қар жамылғысымен жабу дәрежесі, оның биіктігі және ондағы су қоры туралы ақпарат береді [69].

Метеорологиялық орталықтардың көпшілігі ұлттық Мұхиттық және атмосфералық зерттеулер басқармасының (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) және оның бөлімшелерінің сайттарында Интернет желісінде еркін қолжетімді жерсеріктік өнімді пайдаланады. Мысалы, nesdis (National Environmental Satellite Data and Information Service) құрастырған IMS (Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System) NOAA спутниктік өнімдері, 24 және 4 км (2014 жылғы желтоқсаннан бастап) рұқсаты бар аумақты қармен және мұзбен жабу туралы ақпаратты қамтиды. 1 км рұқсаты бар өнім жұмыс істейді), сондай-ақ күн сайын және автоматты түрде шығарылатын, Солтүстік және оңтүстік жарты шарлардың аумағын қар мен мұзбен жабу туралы ақпаратты қамтитын NOAA 4 км ажыратымдылығы бар композитті өнім тегін жүктеу үшін қол жетімді.

#### **1.4 Қардың еруін модельдеу**

Кеңістікте таралған қар жамылғысы туралы ақпарат су ресурстарының климаттық өзгергіштігін бағалау үшін және қар басым аймақтардағы гидрологиялық модельдерді калибрлеу және тексеру үшін өте маңызды. Арреальды емес уақыттағы қар жамылғысы туралы мәліметтер маусымдық ағындарды қысқа мерзімді болжау үшін пайдалы болуы мүмкін. Мұндай ақпаратты жоғары дәлдіктегі қашықтықтан зондтау әдістерін қолдану арқылы алуға болады [51].

Жылдың көктемгі кезеңінде қар жамылғысының еруі Жер шарының барлық бөліктерінде маңызды рөл атқарады, өйткені ол сумен қамтамасыз етумен және су ресурстарымен тікелей байланысты. Бұл әсіресе таулы аймақтарда маңызды рөл атқарады, мұнда қар жамылғысы рельефтің ағынының 50 % құрайды және кейде 95 % жетеді. Атап айтқанда, осы ресурстарды жақсы бағалау үшін әр түрлі модельдерде қардың еруінен шығуды болжау үшін тепе-теңдік энергиясы мен температура индексі немесе градус-күн моделі әдістері қолданылады.

Қардың еру үлгілерін әзірлеу ұзақ тарихы бар. Ең ерте кезеңде өзен ағыны өлшенетін шамалар (мысалы, қар жамылғысының ауданы, қардағы су эквиваленті және т. б.) мен қардың еруі арасындағы статистикалық байланысты орнату арқылы бағаланады [73]. Қазіргі кезде эмпирикалық теңдеулер жиі қолданылады. Эмпирикалық теңдеулер принципі, басқаша градус-тәулік коэффициенті [74], ауа температурасы мен қардың еруі арасындағы сызықтық

байланыстың болуын болжау болып табылады. Қардың балқуының ең классикалық моделі-Snow Runoff Model (SRM) – J. Martinec 1975 жылы ұсынған [74]. Содан бері ол үнемі қайта қаралып, жетілдіріліп отырды, бұл оны жалпыланған және кеңінен қолдануға мүмкіндік берді [75,76]. Қазіргі уақытта халықаралық метеорологиялық ұйым ұсынған SRM моделі [76] бүкіл әлем бойынша 100-ден астам дренажды алаптарда кеңінен қолданылады. Градус-тәулік моделін пайдалану жеңіл және әдетте жоғары дәлдікке ие болғандықтан, ол кеңінен қолданылды. Алайда оның кемшілігі – ол қардың еруінің физикалық процесін үлгілей алмауында.

Алғаш рет 1950 ж. АҚШ армиясының инженерлер корпусы қар жамылғысы мен қоршаған орта арасындағы энергия алмасуға негізделген қардың еруін есептеді [77]. Бұл әдістің принципі физикалық негізі мықты энергия және су балансына негізделген. әдістің бірқатар зерттеулер [78] нәтижесінде дами түсті. Әрі қарай 1970 жылдары есептеу техникасының қарқынды дамуы таратылған физикалық гидрологиялық модельдерді терең дамытуға мүмкіндік берді. Осы жылдары қардың жинақталуы мен абляциясының SNOW-17 моделін алғаш рет Андерсон [79] Ұлттық ауа райы қызметінің (NWSRFS) өзендерді болжау жүйесінің құрамдас бөлігі ретінде сипаттаған. 1973 жылдан бастап SNOW-17 моделіне бірнеше өзгерістер енгізіліп, қар жамылғысының биіктігін есептеу қосылды. 1986 жылы алғашқы репрезентативті таратылған физикалық гидрологиялық модель – Еуропалық гидрологиялық жүйе (SHE) әзірленді [80], аталған модель қардың еруін алаптың жеке ұяшықтары үшін энергия балансы теңдеуі негізінде модельдейді.

90-шы жылдардан бастап SNOWBALL [81], Юта энергетикалық тепе-теңдік моделі (UEB) [82] және т.б. қардың еруінің бірқатар үлестірілген модельдері жасалды. Сонымен бірге, VIC [83], SWAT [84] сияқты үлестіріліген физикалық гидрологиялық модельдер қардың еруін модельдеуді ұсынды. Одан басқа, энергетикалық тепе-теңдік модельдері негізінде SNOWPACK [85] сияқты бірнеше қабатты қардың еруін үлгілейтін модельдер жасалуымен дамыды. Қазіргі таңда аталған модельдердің басым көпшілігі қар жамылғысының таралу заңдылықтарын зерттеу мақсатында көп қолданысқа ие.

Соңғы жылдары машиналық оқыту (machine learning) ғылыми жаңалықтар мен модельдерді әзірлеуге жаңа және жетілдірілген мүмкіндіктер беретін революциялық, әмбебап құралға айналды. Оның қарқынды дамуы қардың еруін модельдеудің жаңа мүмкіндіктерін ашты.

Жалпы қолданылатын әртүрлі абляция алгоритмдеріне сәйкес, қар еру модельдерін әдетте төрт санатқа бөлуге болады: статистикалық, тұжырымдамалық, физикалық және деректерге негізделген модельдер. Қардың еруінің статистикалық модельдері қардың гидрологиялық сипаттамасының белгілі бір параметрі (мысалы, қар жамылғысының ауданы) мен ағынды болжау үшін дренаж арасындағы байланысты орнату үшін статистикалық әдістерді немесе «қара жәшік» модульдерін пайдаланады. Қардың еруінің тұжырымдамалық немесе концептуалды модельдері әдетте қардың еруі мен температура арасындағы эмпирикалық байланысты орнатады. SRM және HBV

[86] сияқты бұл модельдер физикалық мағынаға ие және жетілген және кеңінен қолданылатын әдістер болып табылады. Зерттеу аймағында орналасқан Есіл және Мойылды өзен алаптары үшін HBV моделін бейімдеу жұмыстары [87] жүргізілді. Нәтижесінде модель өзен алаптары үшін әрбір кезеңге қар жамылғысының биіктігі туралы ақпаратты ұсынды.

Күнделікті немесе қысқа уақыт кезеңдері үшін қардың еруін модельдеу үшін екі негізгі тәсіл қолданылады. Ең мұқият әдіс – *энергия балансының теңдеуінің* моделі. Алайда, бұл әдіс үлкен көлемдегі деректерді қажет етеді және кейде деректердің жеткіліксіздігіне байланысты оны пайдалану мүмкін емес.

Қардың еруін модельдеудің альтернативті (баламалы) кең қолданысқа ие әдісі – «градус-тәулік» (degree-day) әдісі. Бұл әдісте ауа температурасы барлық энергия ағындарын индекстеу үшін қолданылады. Индекске негізделген тәсілдің кемшіліктері болғанымен, ол қарапайымдылығына байланысты кеңінен қолданылады.

Алап масштабында тепе-теңдік энергиясына негізделген толық үлестірілген модель сирек кездеседі, бірақ оны G. Leavesley және L. Stannard [70] және G. Bloschl [71] әзірлеп, жетілдірген. Алап масштабында жұмыс істейтін градус-тәулік модельдері жалпы болып табылады. J.Y. Rodríguez [72] жұмысында «градус-тәулік» модельдерінің кеңінен қолданылатын әдістерін Martitec және Bergstrom әзірлегенін көрсетеді.

Қардың еруін бағалау үшін «градус-тәулік» әдісі 60 жылдан астам уақыт бойы әртүрлі бағыттарда қолданылып келеді. Бұл әдіс қардың еруін есептеудің дәлдігін арттыру үшін тепе-теңдік энергиясына негізделген көптеген модельдерді өзінің қарапайым қолданылуымен алмастырды.

Орталық Азия аумағы үшін қар жамылғысы су ресурсының негізгі көзі болып табылады. Сондықтан оның еруі мен өзгергіштігін сандық тұрғыдан бағалау, әсіресе климаттың өзгеруі кезеңінде үлкен маңыздылыққа ие. Су ресурстарын бағалау мақсатында қар жамылғысы мәліметтері Орталық Азия аумағы үшін [52,53,56,88,89] жұмыстарында көрініс тапты.

### **1.5 Климаттың жаһандық жылынуы кезеңінде қар жамылғысы ылғал қорының заманауи өзгеруінің тенденциясы**

Климаттың өзгеру түсінігі ең алдымен белгілі бір ауданның ауа-райы жағдайын сипаттаушы атмосфералық түсінік ретінде таралса, климатология атмосфера туралы ғылым ретінде қарастырылды. Кейіннен ғылымның дамуымен XX ғасырдың екінші жартысында климаттың жаһандылық тұрғыдан, әсіресе А.С. Мониннің [90] жұмыстарынан атмосфераның ғана емес, мұхит, криосфера, құрлықты қосатын климаттық жүйенің режимі ретінде көрініс тапты. Сонымен қатар, А.С. Монинмен климаттық режимнің табиғатынан өзгермелілігін ескере отырып, климаттың өзгерісі түсінігіне оның өзгерушілігі туралы ұғымы енгізілді.

Климаттың өзгеруі жөніндегі үкіметаралық сарапшылар тобының бағалау баяндамасында [91] климаттың өзгеруінің келесі тұжырымдамасы берілген: «Климаттың өзгерушілігі – жекелеген құбылыстардың шкаласынан басқа,

климатты уақыттық және кеңістіктік тұрғыда сипаттай алатын барлық көрсеткіштердің статистикалық параметрлерінің және орташа мәні жағдайының тербелісі. Климаттың өзгермелілігі ішкі табиғи процестердің немесе сыртқы антропогендік әсерлердің салдарынан орын алуы мүмкін».

Г.В. Груз және Э.Я. Ранькова бойынша [92] климат өз шеңберінде белгілі бір уақыт аралығында белгілі бір аумақтағы ауа-райы жағдайларының жиынтығы ретінде және ауа-райы өзгерісінің жалпы жағдайы ретінде баяндалған. Климаттың статистикалық көрсеткіштерін сипаттау үшін орташа, экстремалдылық секілді ұғымдар және белгілі бір құбылыстың қайталанушылығы мен мәндері қарастырылады.

Г.В. Груздың [93] жұмысында ХХ ғасырдың ІІ жартысында өткен кезеңдерге қарағанда антропогендік әсердің салдарынан климаттың өзгеруі қарқынды түрде жүруі анықталған.

Климат өзгеруінің қарқындылығы дүниежүзілік деңгейдегі ғаламдық мәселеге айналды. Нәтижесінде көптеген ғылыми жұмыстар климаттың өзгеру табиғаты мен оның қоршаған ортаға әсер етуінің салдарын қарастыру кең етек ала бастады. Бұл ретте табиғи сыртқы әсерлерге жердің орбиталық параметрлерінің тербелісі, вулкандық қызмет, күн белсенділігі, антропогендік әсерге — адамның шаруашылық қызметі нәтижесінде атмосфераның газ және аэрозольдық құрамының өзгеруі, жер пайдалану сипатының өзгеруі жатады. В.А. Большаковтың "Палеоклиматтың орбиталық теориясының жаңа тұжырымдамасы" монографиясында баяндалған теориясына сәйкес [94] инсоляцияның орбиталық негізделген вариацияларының климатқа әсер ету күші, ең алдымен, қарастырылып отырған уақыт кезеңіндегі кері байланыстардың сипатымен анықталады.

Жаһандық климаттың қазіргі заманғы өзгеруінің анықталған үрдістерін ғылыми негіздеу және оның ХХІ ғасырдағы өзгерістеріне болжам беруге талпыну үшін 1988 жылы Біріккен Ұлттар Ұйымының Қоршаған орта жөніндегі комиссиясының және Дүниежүзілік метеорологиялық ұйымның шешімі бойынша "Климаттың өзгеруі жөніндегі үкіметаралық сарапшылар тобы (IPCC)" ұйымдастырылды. 1988 жылдан бастап жер шарындағы климаттың өзгеруі туралы бес бағалау есебі дайындалды. Климаттың өзгеруі жөніндегі үкіметаралық сарапшылар тобының Бесінші бағалау баяндамасының бірінші жұмыс тобының баяндамасында [91] "Климаттың жылыну фактісі күмән тудырмайды. Атмосфера мен мұхиттың жылынуы болды, қар мен мұз қоры азайды, мұхит деңгейі көтерілді, парниктік газдардың концентрациясы артты» деген қорытынды жасалды.

В.М. Котляковпен жаһандық климаттың өзгеруі Солтүстік жарты шарда қар жамылғысының өсуіне алып келетіндігі көрсетілді [95]. Ғалымдар 1960 жылдардан бастап солтүстік жарты шарда қар жамылғысының таралуын спутниктік бақылау басталған кезде қар жамылғысы ауданының өсу тенденциясын байқады. Бұл жаһандық жылыну дәуірінде ауа температурасы жоғарылаған сайын ауа массаларының ылғал мөлшері де өсетіндігімен түсіндіріледі, сондықтан суық жерлерде қардың мөлшері артады. 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 [96,97,98,99]. Зерттеу жұмысының нәтижелері қар жамылғысы сипаттамаларының әртүрлі бағытты өзгерулерін көрсетеді. Солтүстік Еуразия құрлығының батыс және оңтүстік шекараларындағы қар жамылғысы ауданының азаюы жоғары ендіктердегі қар жамылғысының аккумуляциясының жоғарылауының салдары [96, 95-97] болып табылады.

В.В. Попованың жұмысында [100] 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 жамылғысының биіктігінің ең үлкен өзгергіштігі Арктика жағалауында орын алғандығы анықталды, бұл өзгергіштік өз кезегінде 1970 жылдан бастап орын алып жатқан оң трендтің болуымен, температура 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 [101].

IPCC V-баяндамасының мазмұны өте жоғары сенімділікпен Солтүстік жарты шардағы қар жамылғысының ауданы XX ғасырдың ортасынан бастап төмендегенін көрсетеді. Солтүстік жарты шардағы қар жамылғысының ауданы 1967-2012 жылдар аралығында наурыз және сәуір айларында онжылдықта 1,6 [0,8-ден 2,4] % - ға және маусымда әрбір онжылдықта 11,7 [8,8-ден 14,6] %-ға азайды. Осы кезеңде бірде-бір айда Солтүстік жарты шарда қар жамылғысының статистикалық маңызды ұлғаюы байқалған жоқ [102].

XXI ғасырда арктикалық теңіз мұздарының ауданы мен қалыңдығы төмендей беруі мүмкін, ал солтүстік жарты шардағы көктемгі қар жамылғысы орташа Ғаламдық Жер үсті температурасы көтерілген сайын азаяды.

Сонымен қатар, климаттың өзгеруі жөніндегі үкіметаралық сарапшылар тобының [91] бағалау баяндамасында XXI ғасырдың соңында Солтүстік жарты шардың көктемгі қар жамылғысының ауданы модельді ансамбльдің болжамы бойынша орташа алғанда RCP2.6 сценарийі бойынша 7 %-ға және RCP8.5 сценарийі бойынша 25 %-ға төмендеуі мүмкін (сенімділіктің орташа дәрежесі).

Солтүстік жарты шарда көктемнің аяғында және жазда маусымдық қар жамылғысының ұзақ мерзімді төмендеуі байқалады [3]. 2022 жылы қар жамылғысының ауданы 2001-2020 жылдардағы орташа деңгейге жақындады және жоғарыда аталған ұзақ мерзімді тенденцияға сәйкес келді. Rutgers Northern hemisphere SCE39 өнімін талдау қорытындысы бойынша 2021 жылғы тамыздан 2022 жылғы шілдеге дейінгі қар маусымындағы орташа тәуліктік қар жамылғысының ауданы 2001-2020 жылдардағы орташа мәннен 2,5 %-ға төмен болды, 2022 жылғы маусымда қар жамылғысының ұзындығы -1,68 млн. км<sup>2</sup>

болған кезде ең үлкен ауытқулар болды, бұл орташадан 21 %-ға төмен. Солтүстік жарты шарда көктемде қар жамылғысының азаюы барлық деректер жиынтығында кездеседі. 2022 жылдың маусымында қар жамылғысының орташа деңгейден төмен болуы Солтүстік Америкада да, Еуразияда да қар жамылғысының нормадан төмен болуына байланысты болды: маусым айындағы қар жамылғысының ауданы мәндері 1967-2022 жылдар аралығындағы ең төменгі көрсеткіштер арасында сәйкесінше екінші және үшінші орында болды.

Қар жамылғысындағы ылғал қорының CMIP5 кіретін жалпы циркуляцияның (GCM) 17 модельдің ансамбльдік болжамы негізінде [103] жұмысында Солтүстік жарты шардың жартысынан көбінде азаятындығы [104] және Орта Сібір үстіртінде аздап артатындығы болжанған. Сонымен бірге, Солтүстік Американың орталық бөлігінде, Батыс Еуропада және Ресейдің солтүстік-батысында қар жамылғысы ылғал қоры айтарлықтай төмендейтіні (1986-2005 жылдармен салыстырғанда 40% - дан астам), көрсетілген.

Климаттың жаһандық өзгеруі кезеңінде Тибет үстіртінде индустрияға дейінгі кезеңмен (1850-1900) салыстырғанда 1,5° және 2°С жаһандық жылыну сценарийлері бойынша қысқы-көктемгі мезгілдерде қар жамылғысы ылғал қоры айтарлықтай қысқараруы болжанады, бұл жалпы Қытай мен Солтүстік жарты шарға қарағанда жылдамырақ қарқынмен жүретіні көрсетілген [105]. Сонымен қатар, аталған аймақта қар жамылғысы ылғал қорының төмендеуі [106,107,108] зерттеулерінде де көрініс тапқан.

Соңғы онжылдықтарда байқалған жаһандық жылыну жағдайында қар жамылғысының барлық сипаттамаларында өзгерістер орын алуда. Климаттың жылынуы кезінде ел аумағының едәуір бөлігінде қар жамылғысының ауданы азаяды деп күтілуде. Сонымен қатар, қар жамылғысын қамтитын елдің климаттық ресурстарын бағалау үшін қар жамылғысының таралу заңдылықтарын білудің маңыздылығын атап өткен жөн.

Климаттың өзгеруі және оның салдары, атап айтқанда, бұл қар жамылғысының негізгі сипаттамаларына қатысты: қардың орташа биіктігі, тұрақты қар жамылғысының басталуы мен аяқталуын зерттеу, оның ішінде климатты түзуші негізгі фактор ретінде, сонымен бірге өзен ағындысын қалыптастырушы негізгі фактор ретінде Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптарында өте маңызды.

## **2 ЕСІЛ ЖӘНЕ НҰРА-САРЫСУ СУШАРУАШЫЛЫҚ АЛАПТАРЫНЫҢ КЛИМАТЫНЫҢ ӨЗГЕРУІ**

### **2.1 Климаттың жаһандық өзгеруі**

Жаһандық климаттық жүйе күрделі құрылымды кешен. Осы күрделі мәселелерді түсіну үшін ДМҰ-ның «Жаһандық климаттың жай-күйі» баяндамасында өзгермелі климатты сипаттау үшін жаһандық ауқымдағы климат туралы кең түсінік беретін 7 климаттық индикатор қолданылады: парниктік газдар, температура, теңіз деңгейінің көтерілуі, мұхиттың қызуы мен қышқылдануы, теңіз мұзы мен мұздықтар. Олар климаттың өзгеруі үшін ең маңызды аймақтарды, соның ішінде атмосфераның құрамын, парниктік газдардың және басқа факторлардың жиналуынан болатын энергетикалық өзгерістерді және құрлық, мұхиттар мен мұздардың әсерін бақылау үшін қолданылады.

Қазіргі уақытта жаһандық жылыну даусыз факт болып табылады, өйткені жер бетіндегі ауа температурасының жоғарылауы бүкіл әлемде байқалуда [1].

2021 жылы климаттың өзгеруі жөніндегі үкіметаралық топ климат жүйесі мен климаттың өзгеруі туралы ең заманауи физикалық түсінікке сүйене отырып, климат туралы ғылымның соңғы жетістіктерін біріктіріп, палеоклиматтың көптеген дәлелдерін, геофизикалық процестерді бақылау мен түсінуді, сондай-ақ жаһандық және аймақтық климатты модельдеуді біріктіре отырып, жаңа алтыншы баяндаманың [109] физикалық ғылыми негізін шығарып, онда климаттың өзгеруінің барлық жаңа дәлелдері келтірілген.

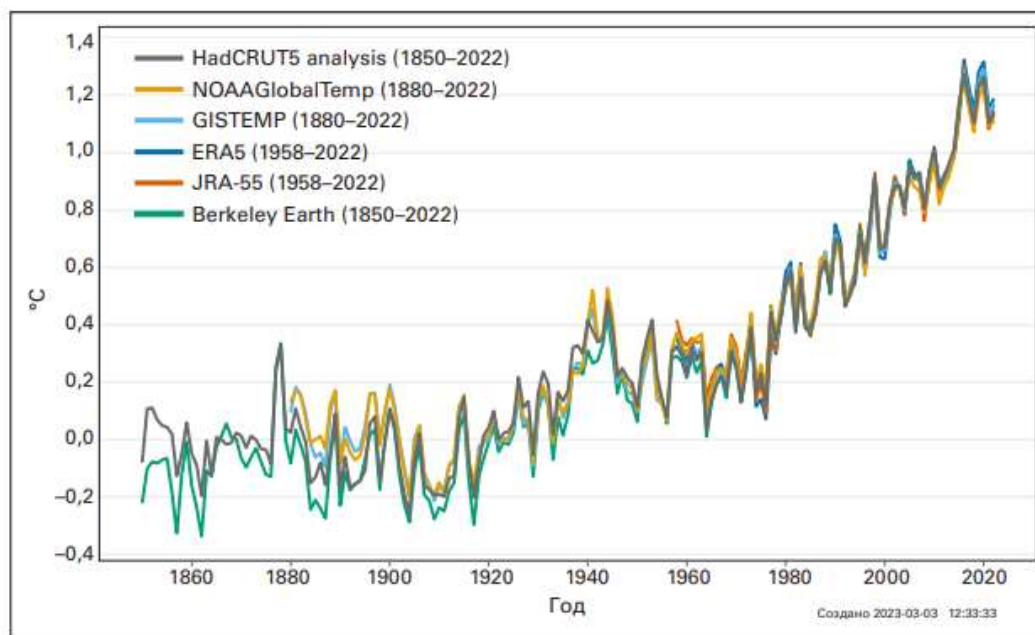
Жаңа баяндамаға сәйкес, соңғы төрт онжылдықтың әрқайсысы 1850 жылдан бергі кез келген онжылдыққа қарағанда дәйекті түрде жылы болды. ХХІ ғасырдың алғашқы екі онжылдығында (2001-2020) құрлық пен Мұхит бетінің жаһандық температурасы 1850-1900 жылдарға қарағанда 0,99 °C жоғары болды [110].

Ауа температурасының жоғарылауы бүкіл әлемде айтарлықтай экстремалды климаттық құбылыстардың өсуімен бірге жүреді. IPCC AR6 есебінде хабарланғандай, суық күндер мен түндердің саны азайып, жылы күндер мен түндердің саны артуы әбден мүмкін, ал жылу толқындары мен қатты жауын-шашынның жиілігі де артқан [111,112,113]. Дүниежүзілік экономикалық форумның жыл сайынғы есебінде [114] 2021 жылға арналған жаһандық тәуекелдер рейтингі жарияланды. Ықтималдығы бойынша рейтингі бар негізгі жаһандық тәуекелдердің бестігінде 2017 жылдан бері позициядан кем түспейтін экстремалды ауа райы жағдайлары бірінші орынды иеленді. Әсер ету ауқымы мен салдардың ауырлығы бойынша сараланған тәуекелдер тізімінде климаттық әрекеттердің сәтсіздігі жаппай қырып-жою қаруынан озып түсіп, екінші орынға ие болды.

Климаттың экстремалды өзгеруіне байланысты елеулі тәуекелдерді болдырмау мақсатына бағытталған Париж климаттық келісімі Жер бетінің орташа жаһандық жылынуын 2,0 °C-тан төмен ұстауға бағытталған және

индустриалды кезеңге дейінгі деңгеймен салыстырғанда  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  болатын өршіл (амбициозный) мақсатты ұсынады [115].

Жаһандық климаттың жағдайы жөніндегі ДМҰ-ның баяндамасына [3] сәйкес 2022 жыл индустриалды кезеңге дейінгі (1850-1900) температурамен салыстырғанда  $1,15 \pm 0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$  жылы болды және соңғы 8 ең жылы жылдардың қатарына енді. Ла-Ниньяның салқындату шарттарына қарамастан 2022 жыл барлық инструменталды бақылау кезеңдерінің ішінде ең жылы 5-ші немесе 6-шы жыл болғандығы анықталды. 2015 жылдан 2022 жылға дейінгі сегіз жыл барлық деректер жиынтығына сәйкес ең жылы болды (2.1-сурет).



Сурет 2.1 – Алты жаһандық температура деректер жинағы (1850-2021) үшін индустрияға дейінгі жағдайларға қатысты жаһандық орташа жылдық температураның ауытқулары (1850-1900) [3]

Ла-Нинья жағдайлары үшінші жылы сақталып, 2020 жылдың соңында қалыптасты. Ла-Нинья әдетте жаһандық орташа температураның уақытша төмендеуімен байланысты және 2021 және 2022 жылдар Ла-Нинья жағдайларына көшу арқылы 2019 және 2020 жылдарға қарағанда жылы болды. Дегенмен, 2021 және 2022 жылдар 2011 жылмен салыстырғанда жылы болды (жаһандық орташа температура 1850-1900 жылдардағы орташа температурадан  $0,87\text{ }^{\circ}\text{C}$  [0,74—0,99] жоғары болған кезде), бұл маңызды Ла-Нинья құбылысынан зардап шеккендердің соңғысы және 2015 жылға дейінгі кез келген жылмен салыстырғанда жылы болды. Көптеген деректер жиынтығында 2016 жыл Эль-Ниньоның ерекше күшті құбылысымен байланысты болды, ол әлемдегі ең жылы болып қала береді (1850-1900 жылдардағы орташа көрсеткіштен  $1,28\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1,15—1,40] жоғары жаһандық орташа көрсеткішпен).

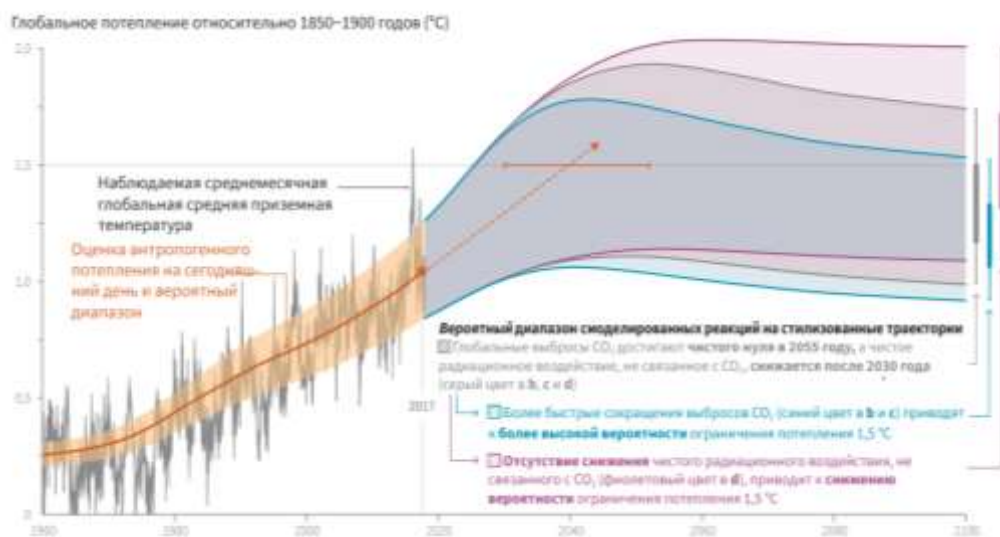
2011-2020 жылдарды қамтитын онжылдықтағы орташа температура 1850-1900 жылдардағы орташа температурадан  $1,09\text{ }^{\circ}\text{C}$  [0,95—1,20] —тан асып

түсті.мұнда пайдаланылған деректер жиынтығына сүйене отырып, 2013-2022 жылдардағы он жылдық кезеңдегі орташа көрсеткіш 1,14 [1,02-1,27] °C деп бағаланады, бұл жылынудың жалғасуын көрсетеді.

Ауа температурасымен салыстырғанда жауын-шашын кеңістіктік-уақыттық өзгергіштікпен сипатталады. ДМҰ баяндамасына сәйкес, 2022 жылы жауын-шашын мөлшері көптеген аудандарда, оның ішінде Азия мен Тынық мұхитының оңтүстік-батысы, оңтүстік Америка мен Кариб теңізінің солтүстігі, Сахелдің шығысы, Оңтүстік Африка, Судан және Шығыс Еуропаның бөліктерін қоса алғанда нормадан жоғары болды.

Жаһандық температураның жоғарылауы бүкіл әлемде ауа-райының күрт өзгеруіне, соның ішінде суық және ыстық толқындарға, су тасқынына, құрғақшылыққа, дала өрттері мен дауылдарға әкелді.

Жақында 2018 жылы 1,5 °C жаһандық жылынудың әсері туралы арнайы баяндамада индустриалдыкезеңге дейінгі деңгейден шамамен 1,0 °C жаһандық жылыну адам әрекетінен туындағаны хабарланды. Ағымдағы өсу қарқынына сәйкес [110] жаһандық жылыну 2030 және 2052 жылдар аралығында 1,5 °C-қа жетуі мүмкін (2.2-сурет).



Сурет 2.2 – 1850-1900 жылдарға қатысты жаһандық жылыну (°C) және стильдендірілген траекторияларға имитацияланған реакциялардың ықтималдық диапазоны [110]

Жаһандық климаттың өзгеруіне 1,5 – 4,0 °C әсер етуі туралы көптеген зерттеулер жүргізілді [111,112,116], осы ғасырдың аяғында Жер шарында жылынудың 1,5 °C-тан асуы ықтимал [117], егер ауа температурасы 1,5 °C және одан жоғары көрсеткішке көтерілсе, әлемнің көптеген аймақтарында төтенше оқиғалар мен табиғи апаттар көп жағдайда орын алуы мүмкін [118]. Бұл әсерлер бүкіл Қазақстан бойынша [119] және бүкіл Орталық Азия аймағы бойынша [120,121] байқалады.

## 2.2 Қазақстан климатының жағдайы мен өзгеруі

Қазақстанның жазық аумағының басым бөлігі биік таулы аудандарды қоспағанда, жеткіліксіз, өте жеткіліксіз ылғалдылыққа ие. ІРСС-тің жаңартылған мәліметтеріне сәйкес, Орталық Азия аймағында мұздықтар азайып, мәңгі тоң деградацияға ұшырайды. Қар жамылғысының маусымдық ұзақтығы, мұздық массасы және мәңгі мұздың ауданы 21 ғасырдың ортасына қарай одан әрі қысқарады. Сонымен қатар, Азияның биік тауларындағы ағынды 21 ғасырдың ортасына дейін мұздықтардың еруіне байланысты артады, содан кейін мұздық қорларының жоғалуына байланысты ағынды азаюы мүмкін [121].

Климаттың өзгеруінің байқалған тенденциялары өңірдің басқа табиғи ресурстарындағы өзгерістерді терең бағалауға және өңірде су және азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету жөніндегі тиімді шараларды әзірлеуге негіз болатын өңірлік климат пен жылу ресурстарының өзгеруі туралы ғылыми негізделген бағалаулар мен қорытындылар алудың тұжырымдамалық негіздерін ұстану қажеттігін талап етеді.

Зерттелетін өзен алаптарындағы жылу мен ылғал ресурстарының қалыптасуына әсер ететін климаттың негізгі элементтері – жер бетіндегі атмосфераның жылу балансының нәтижесі ретінде жер бетіндегі ауа температурасы және жер бетіне ылғалдың бастапқы көзі ретінде жауын-шашын мөлшері болып табылады.

Қазақстандық климатологтардың зерттеу нәтижелері бойынша [119] Қазақстан климатының өзгеруі қарқыны жаһандық климаттың өзгеруінен озып тұр. Мәселен, соңғы 75 жылда Қазақстан аумағында жер бетіндегі ауаның маусымдық температурасының барлық жерде және айтарлықтай өсуі байқалды. Қазақстан бойынша ауаның орташа жылдық температурасының көтерілу жылдамдығы әр 10 жыл сайын  $0,28^{\circ}\text{C}$  құрайды, температураның ең жоғары өсуі көктемде және күзде – тиісінше  $0,30^{\circ}\text{C}/10$  жылға және  $0,31^{\circ}\text{C}/10$  жылға, қыста –  $0,28^{\circ}\text{C}/10$  жылға, жазда температураның ең төмен көтерілу жылдамдығы –  $0,19^{\circ}\text{C} / 10$  жыл құрайды. Қазақстанда 2000 жылдардың басынан бастап көктемгі, жазғы және күзгі мезгілдердің орташа ауа температурасында оң ауытқулар басым болды. Ал қыс мезгілінде оң және теріс ауытқулар қатар орын алды.

Қыс мезгілінде жауын-шашын мөлшері Қазақстанның кейбір солтүстік және таулы аймақтарында аздап артып келеді. Жылы мезгілде жауын-шашын мөлшері, керісінше, әсіресе оңтүстік және батыс аймақтарда төмендеу үрдісін көрсетеді [119]. Сондай-ақ, Қазақстандағы климаттың өзгеруі табиғи-климаттық аймақтардың жылжуына, құрғақшылықтың күшеюіне [122,123,124,125] және қауіпті атмосфералық және гидрологиялық құбылыстардың [126,127] жиілігінің өзгеруіне әкелуі мүмкін екендігі көрсетіледі.

Қазақстан Республикасы аумағы бойынша ауа температурасының өзгеруінің бағалауын «Қазгидромет» РМК мемлекеттік бақылау желісі негізінде жүргізіп, жыл сайынғы климаттың жағдайы мен өзгеруі жөніндегі бюллетеньде жариялайды [128].

Берілген тарауда қарастырылып отырған аумақтың климатының өзгеруін зерттеу мақсатында негізгі климаттық сипаттамалар – ауа температурасы мен жауын-шашынның бастапқы материалдары негізінде талдау жүргізілді.

**Ауа температурасында байқалатын өзгерістер.** Бюллетеньге сәйкес, Қазақстан аумағы бойынша 1976-2021 жылдар кезеңінде ауаның орташа жылдық температурасының көтерілуі әр 10 жыл сайын  $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}$  құрайды, температураның жалпы өзгергіштігіне үлесі 27 % құрайды (3-сурет). Орташа алғанда, Қазақстанның барлық облыстарының аумағы бойынша 1976-2021 жылдар кезеңінде ауаның орташа жылдық температурасының тұрақты өсуі байқалады, яғни детерминация коэффициенттері 10-38 % шегінде, ал трендтер 5 % деңгейінде маңызды болып табылады (1-сурет Б-қосымшасы).

Ауа температурасының Қазақстан аумағында маусымдық өзгерулері келесідей:

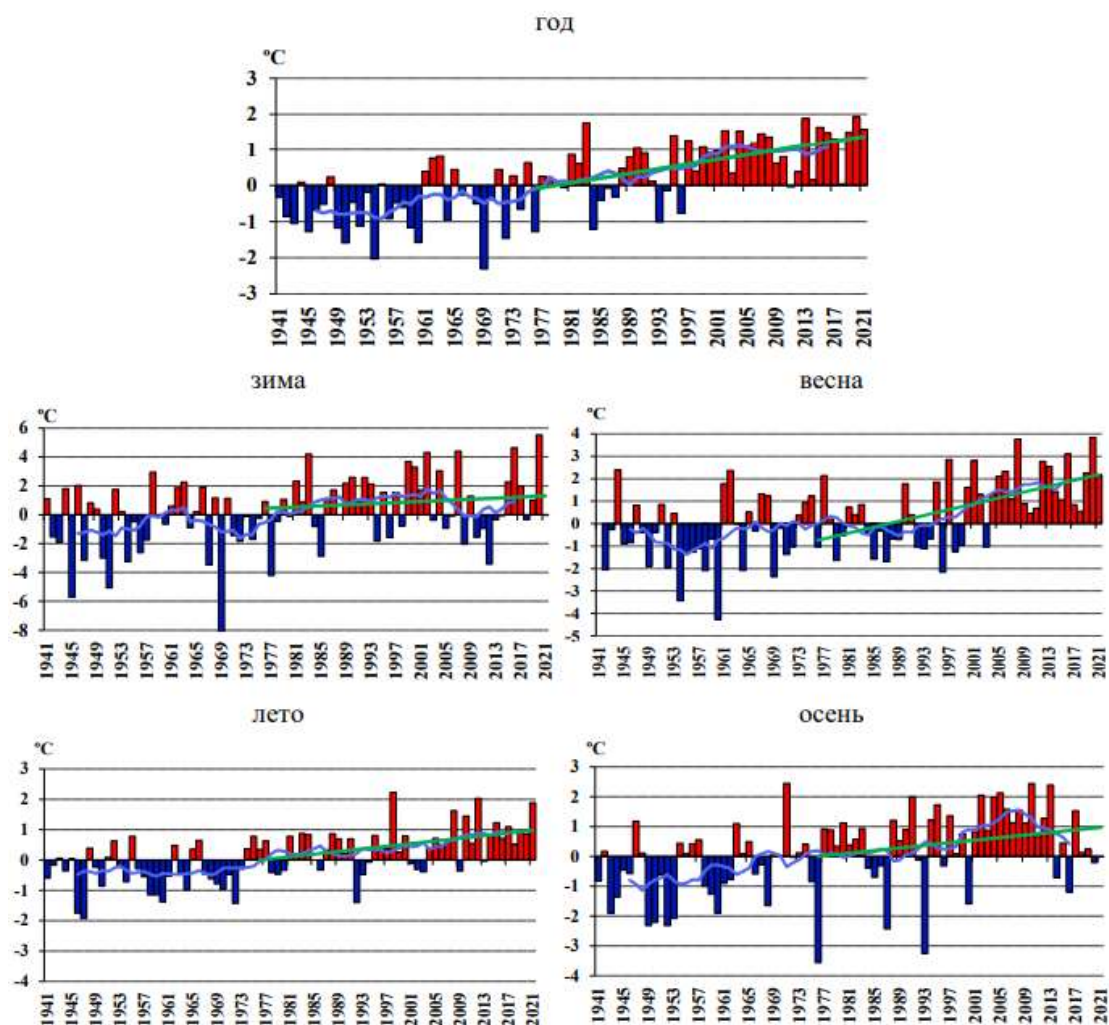
- Қыста жылыну тенденциясы  $0,19\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жылға құрайды, алайда тренд жиынтық дисперсияның тек 1% ғана сипаттайды және 5 % деңгейде маңызды болып табылмайды. Барлық облыстар бойынша, Павлодар облысын қоса есептемегенде, ауа температурасының трендтері оң болды. Қыс мезгілінде жылынудың айқындылығы ( $0,33 - 0,47\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл) республикамыздың батыс аудандарына (Батыс Қазақстан, Атырау, Маңғыстау облыстары), сонымен қатар детерминация коэффициенті 5-11 % құрайтын Түркістан облысына тән;

Көктемде Қазақстан аумағының барлық аудандарында жылынудың қарқынды тенденциясы байқалады. Орташа алғанда ауа температурасы  $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл (тренд құраушысының 31 % үлесі) жоғарылап отырған. Ауа температурасының облыстар бойынша жоғарылау жылдамдығы  $0,40\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жылдан (Алматы облысы)  $0,97\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жылға (Қызылорда облысы) дейінгі аралықта ауытқиды. Жылынудың қарқынды ошақтары Маңғыстау облысының шығыс ауданы, Қызылорда, Қарағанды және Павлодар облыстарында ( $0,79 - 0,97\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл) байқалады. Барлық метеорологиялық станцияларда тенденциялар статистикалық маңыздылығын атап өткен жөн. Сонымен қатар, ауа температурасының көктем мезгілінде қарқынды өсуі мен статистикалық маңыздылығы наурыз айында ( $0,69 - 1,72\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл) байқалады;

Жазда республика аумағы бойынша ауа температурасы  $0,22\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл (детерминация коэффициенті 17 %) ұлғаюда. Ауа температурасының өсуінің маңызды темпі батыс аудандарға тән –  $0,37 - 0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл құрайды. Солтүстік және орталық аймақтарда тенденциялар іс жүзінде байқалмайды – жалпы дисперсиясындағы тренд компонентінің үлесі іс жүзінде нөлге тең, дегенмен трендтің оң белгісі сақталады. Орташа айлық ауа температурасының ең жоғары өсу қарқыны батыс аймақта байқалады;

Күзде ауа температурасының маусымдық жоғарылауы  $0,22\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл (детерминация коэффициенті 5 %) құрайды. Температураның маңызды ұлғаюы өңірдің батыс және солтүстік аудандарында ( $0,28 - 0,45\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл) байқалады. Кейбір солтүстік, орталық, оңтүстік және шығыс аймақтарда тенденциялар іс жүзінде байқалмайды, жалпы дисперсиясындағы тренд компонентінің үлесі 5 %-дан аспайды. Егер жазда максималды және маңызды тенденциялар батыс, оңтүстік және оңтүстік-шығыс аймақтарда байқалса, күзде – батыс және

солтүстік аймақтарда байқалады. Яғни батыс аймақтарда барлық маусымда климаттың айтарлықтай жылынуы байқалды.



Сурет 2.3 – 1941-2021 жылдар кезеңінде Қазақстан аумағы бойынша орташаланған жылдық және маусымдық ауа температурасы (°C) ауытқуларының уақытша қатарлары. ауытқулар 1961-1990 жылдардағы базалық кезеңге қатысты есептелген. 1976-2021 жылдардағы сызықтық тренд жасыл түспен ерекшеленеді. Тегістелген қисық 11 жылдық жылжымалы орташадан алынған [128]

Осылайша, ауа температурасының өсуі маусымдық және жылдық уақыттық деңгейлерде де байқалады. Әсіресе мұндай өсу тенденциясы батыс өңірлерге тән болып келетіндігі анықталды.

## 2.3 Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптарының климаттық сипаттамалары

### 2.3.1. Есіл сушаруашылық алабының климаттық сипаттамалары

Қарастырылып отырған аумақ едәуір үлкен ауданға ие және әртүрлі табиғи жағдайлармен сипатталады. Климаттың негізгі белгілері жалпы және

жергілікті климат түзуші жағдайлардың әсерінен қалыптасады. Ең бастысы – күн жылуының ағыны жердің географиялық ендігіне байланысты негізінен солтүстіктен оңтүстікке қарай ұлғаяды.

Климаттың қалыптасуына теңіз ауа массалары: Атлант мұхитынан жылы және ылғалды, мұзды мұхиттардан суық және құрғақ, сондай-ақ Орта Азия шөлдерінен соққан құрғақ және ыстық желдер әсер етеді.

Климаттың ерекшелігі – күрт континенталдылығы ауа температурасының ауытқуының үлкен амплитудасы және жауын шашынның аз мөлшерімен сипатталуы. Сондай-ақ, құрғақ ауа және аз мөлшерде жауын-шашын бассейнінің аумағына тән. Жергілікті жазық бедері оның аумағына әртүрлі шығу тегі бар Арктикалық, Орта Азиялық, Еуропалық және сирек Атланттық ауа массаларының енуіне кедергі келтірмейді. Қыс мезгілі антициклоналды ауа-райымен, кейде циклондардың енуімен бұлттылық пен желдің күшеюімен бірге жүретін ауа-райының бұзылуымен сипатталады. Жазда мезгілінде алап аумағына солтүстіктен суық және құрғақ ауа келеді, ол оңтүстікке қарай жылжып, одан да құрғақ бола түседі [129].

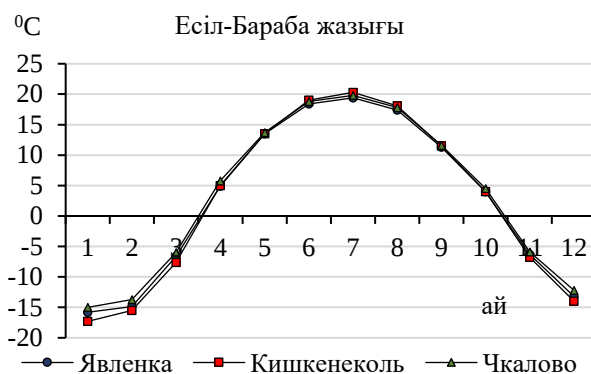
*Ауа температурасы.* Ауаның жылдық орта температурасы аумақта шамамен 1,70 °C солтүстігінде және оңтүстік аудандарда биік учаскелерде дейін 3,90 °C жетеді. Кейбір жылдардағы абсолютті минимумдар минус 48 - 51 °C жетеді (қаңтар-ақпан). Ең жылы ай – шілдеде орташа айлық температурасы 18.2 °C-тан 20.6 °C-қа дейін өзгереді (3-сурет, А-қосымшасының 1-кестесі). Температураның абсолютті максимумдары 40-43 °C-қа дейін жетеді, сондықтан орташа айлық ауа температурасының тербеліс амплитудасы шамамен 40 °C, абсолютті амплитудасы 90 °C-тан асады.

Ауа температурасының көктемгі ауысуы 0 °C аумақтың көп бөлігінде әдетте 12-13 сәуірде, ал өзен алабының қиыр оңтүстігінде 10-12 сәуірде байқалады (3-сурет). Көктем мезгілінде жылудың өсуі өте тез жүреді; 0 °C-тан шамамен 10 күн өткен соң ауа температурасы 5 °C-қа жетеді. Күзде ауа температурасының 0 °C-қа ауысуы орта есеппен 22-25 қазанда болады. Қыстың орнығуы ұзаққа созылады [129].

Жылдың ең суық айында қаңтар айында Есіл алабында ауаның орташа көпжылдық температурасы Қазақ ұсақ шоқысында минус 16,9-дан минус 14,3 °C-ге дейін және Есіл-Бараба жазығында минус 17,3-тен минус 15,0 °C-қа дейін ауытқиды.

Шілде – жылдың ең ыстық айы, орташа айлық температурасы Қазақ ұсақ шоқыларының аумағында 18,2-ден 20,6 °C-қа дейін өзгереді. Есіл-Бараба жазығында температураның ауытқу амплитудасы небәрі 0,9 °C құрайды және 19,4-тен 20,3 °C-қа дейін ауытқиды (2.4-сурет).

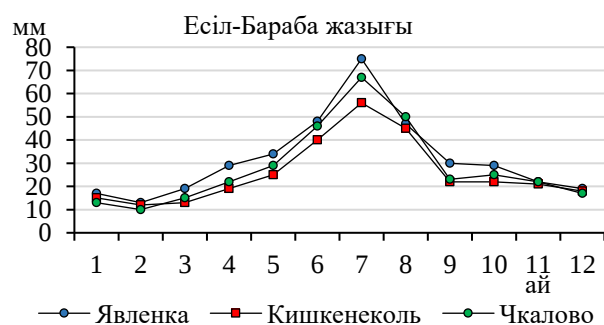
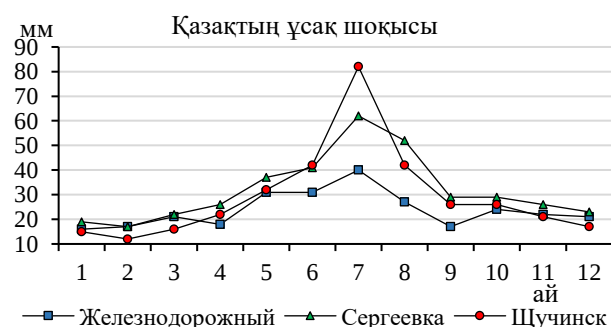
Көктемгі маусымда жылудың өсуі өте тез жүреді, 0 °C-тан өткеннен кейін шамамен 10 күн өткен соң ауа температурасы 5 °C-қа жетеді. Күзде ауа температурасының 0 °C-қа ауысуы орта есеппен 22-25 қазанда болады. Қыстың белгіленуі ұзаққа созылады.



Сурет 2.4 – Есіл алабы аумағындағы кейбір метеорологиялық станциялардың мәліметтері бойынша ауа температурасының жылдық жүрісі ( $^{\circ}\text{C}$ )

*Жауын-шашын.* Жауын-шашынның жылдық орташа мөлшері 284-тен 458 мм-ге дейін аралықта ауытқиды. Жауын-шашын мөлшері жыл ішінде әркелкі таралады. Жылдың суық бөлігіндегі (қараша-наурыз) жауын-шашын жылдық мөлшердің тек 25-30 %-ын құрайды. Жылы мезгілде (сәуір-қазан) солтүстік аудандарында 200-220 мм, ал оңтүстігінде 14-тен 180 мм-ге дейін жауын-шашын түседі. 1991-2020 жылдар кезеңінде жауын-шашынның ең көп мөлшері Есіл алабының барлық метеостанциялары бойынша шілде айына келеді және 40-тан 82 мм-ге дейін ауытқиды. Ақпанда жауын-шашынның ең аз мөлшері 10-нан 23 мм-ге дейін түседі.

1991-2020 жылдар кезеңінде жауын-шашынның ең көп мөлшері Есіл алабының барлық метеостанциялары бойынша шілде айына келеді және 40-тан 82 мм-ге дейін ауытқиды. Ақпанда жауын-шашынның ең аз мөлшері 10-нан 23 мм дейін түседі (2.5-сурет).



Сурет 2.5 – Есіл алабы аумағындағы кейбір метеорологиялық станциялардың деректері бойынша атмосфералық жауын-шашынның (мм) жылдық таралу жүрісі

Жылдың суық мезгіліндегі (қараша-наурыз) жауын-шашын мөлшері жылдық жауын-шашынның тек 25-30 % құрайды. Қазақтың ұсақ шоқысы аудандарында орташа көпжылдық жауын-шашын мөлшері 10-нан 36 мм-ге дейін, ал Есіл-Бараба жазығында 11-ден 30 мм-ге дейін өзгереді.

Жылы мезгілде орташа көпжылдық жауын-шашын сәйкесінше 24-тен 82 мм-ге дейін және 19-дан 75 мм-ге дейін ауытқиды.

*Қар жамылғысы.* Қарастырылып отырған аумақ бойынша қар жамылғысының таралуында, яғни солтүстіктен оңтүстік бағытына қарай қар жамылғысының биіктігінің және ондағы ылғал қорының таралуында табиғи азаюымен, ұзақтығының қысқаруымен айқындалған айқын аймақтық заңдылық байқалады. Тұрақты қар жамылғысы әдетте ауаның орташа тәуліктік температурасы минус 5 °С дейін төмендеген кезде орнатылады. Алаптың солтүстік аймақтарында қар жамылғысының пайда болуы орта есеппен 5-10 қарашада, оңтүстігінде – 15-20 қарашада болады.

Барлық қыстың шамамен 50-60 % тұрақты қар жамылғысы орнатылғанға дейін жылыну нәтижесінде тез еріп кететін алғашқы қар жауады (қазан айының аяғында – қарашаның басында). Тұрақты қар жамылғысының пайда болу күндерінің көпжылдық амплитудасы шамамен 1,5-2 айды құрайды. Қар жамылғысының пайда болуының ерте күндері – қазанның үшінші онкүндігіне, ал солтүстік-шығыс бөлігінде – қазанның бірінші жартысында, кеш мерзімдері – желтоқсанның басы мен ортасына қарай жылжиды [130].

### **2.3.2 Нұра-Сарысу сушаруашылық алабының климаттық сипаттамалары**

Нұра-Сарысу өзендері алабының аумағы күрт континенттік және құрғақ климатпен сипатталады, бұл аумақтың үлкен су кеңістігінен қашықтығына, сондай-ақ меридиональды бағытта қозғалатын Орта Азия шөлдерінің жылы құрғақ субтропикалық ауасы мен суық, ылғалға кедей арктикалық ауаның еркін қол жетімділігіне байланысты. Жылы жартыжылдық жоғары ауа температурасымен, шамалы жауын-шашынмен және ауаның салыстырмалы ылғалдылығымен сипатталады, ал суық жартыжылдықта тұрақты қар жамылғысы, желдің айтарлықтай жылдамдығы және жиі қарлы боранмен ұзаққа созылатын қатал қыспен сипатталады [131].

Көктем наурыздың аяғында – сәуірдің басында келеді және тек бір, екі айға созылады. Жаз төрт-бес айға созылады. Күз, көктем сияқты, қысқа. Қыс қараша айында басталып, наурыз айында аяқталады.

*Ауа температурасы.* Қарастырылып отырған аумақтың солтүстігіндегі орташа жылдық ауа температурасы 2,7 – 3,5 °С, ал оңтүстігінде 4,3 – 7,0 °С. Жер бедерінің қилылығына байланысты ауа температурасының солтүстіктен оңтүстікке қарай табиғи өсуі жиі бұзылады. Алаптың жоғары бөліктерінде орташа жылдық ауа температурасы 0-ден 2 °С-қа дейін ауытқиды.

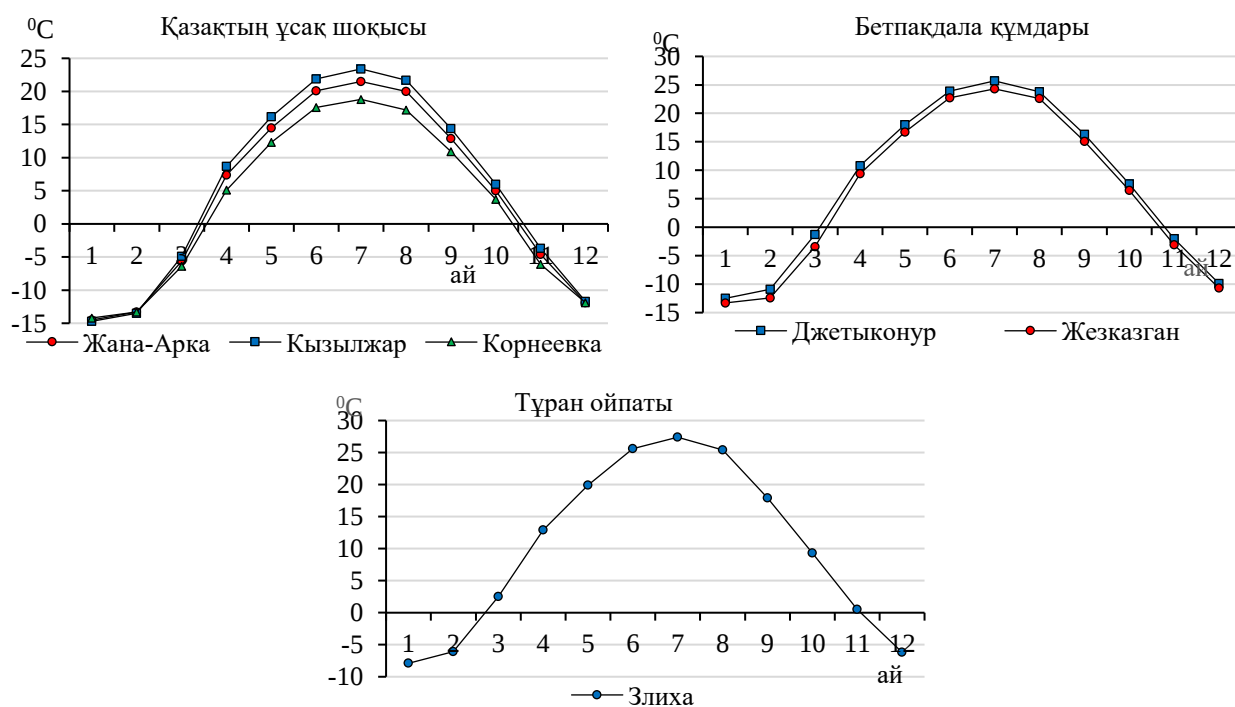
Ең суық айдың орташа ауа температурасы – қаңтарда солтүстікте минус 15,9 °С. (Қарағанды АШТС), ал оңтүстік бөлігінде минус 12,4 °С. (Жетіқоңыр), шығысында – минус 13,7 °С (Қарқаралы). Кейбір жылдардағы абсолютті минимум минус 40 °С жетеді.

Нұра және Сарысу өзендерінің алаптарында орналасқан метеорологиялық станциялар бойынша негізгі климаттық көрсеткіштердің жыл ішіндегі таралуы 2.6-2.7-суреттерде көрсетілген. 1940-20121 жылдар кезеңінде

Қарағанды облысының аумағы бойынша кеңістікте орташаланған жылдық ауа температурасы мен жылдық жауын-шашын сомасы (%) ауытқуларының уақыт қатары мен сызықтық трендтері көрсетілген.

Көктемде ауаның орташа тәуліктік температурасы  $0^{\circ}\text{C}$  арқылы оң температураға орта есеппен 20-30 наурызда, ал  $5^{\circ}\text{C}$  – 5-12 сәуірде өтеді. Ұсақ шоқының жоғары бөліктерінде оң температураның басталуы қоршаған аймақ үшін көрсетілген күндерге қарағанда орта есеппен 3-5 күннен кейін байқалады. Көктемнің басталуы мен аяқталуы жылдан жылға 15-тен 20 күнге дейін ауытқиды. Күзде орташа тәуліктік ауа температурасының  $0^{\circ}\text{C}$ -қа ауысуы 5-10 қарашада байқалады. Жылы кезеңнің ұзақтығы (орташа тәуліктік ауа температурасы  $0^{\circ}\text{C}$ -тан жоғары) орташа есеппен 200-230 күн. Ең жылы ай – шілде. Шілденің орташа айлық температурасы  $19,1^{\circ}\text{C}$ -тан  $25,8^{\circ}\text{C}$ -қа дейін өзгереді.

Ең суық айдың орташа ауа температурасы қаңтарда солтүстікте минус  $16^{\circ}\text{C}$  (МС Қорғалжын), ал оңтүстік бөлігінде минус  $7,9^{\circ}\text{C}$  (Злиха МС), шығыста минус  $14,7^{\circ}\text{C}$  (Бес-Оба МС). Кейбір жылдардағы абсолютті минимум минус  $40-50^{\circ}\text{C}$  жетеді.



Сурет 2.6 – Нұра-Сарысу алабы аумағындағы метеорологиялық станциялардың деректері бойынша ауа температурасының жылдық жүрісі ( $^{\circ}\text{C}$ )

Көктемде ауаның орташа тәуліктік температурасы  $0^{\circ}\text{C}$  арқылы оң температураға орта есеппен 20-30 наурызда, ал  $5^{\circ}\text{C}$  – 5-12 сәуірде өтеді (8-сурет). Ұсақ шоқжұлдыздың жоғары бөліктерінде оң температураның басталуы қоршаған аймақ үшін көрсетілген күндерге қарағанда орта есеппен 3-5 күннен кейін байқалады. Көктемнің басталуы мен аяқталуы жылдан жылға 15-тен 20 күнге дейін. Күзде орташа тәуліктік ауа температурасының  $0^{\circ}\text{C}$ -қа ауысуы 5-10

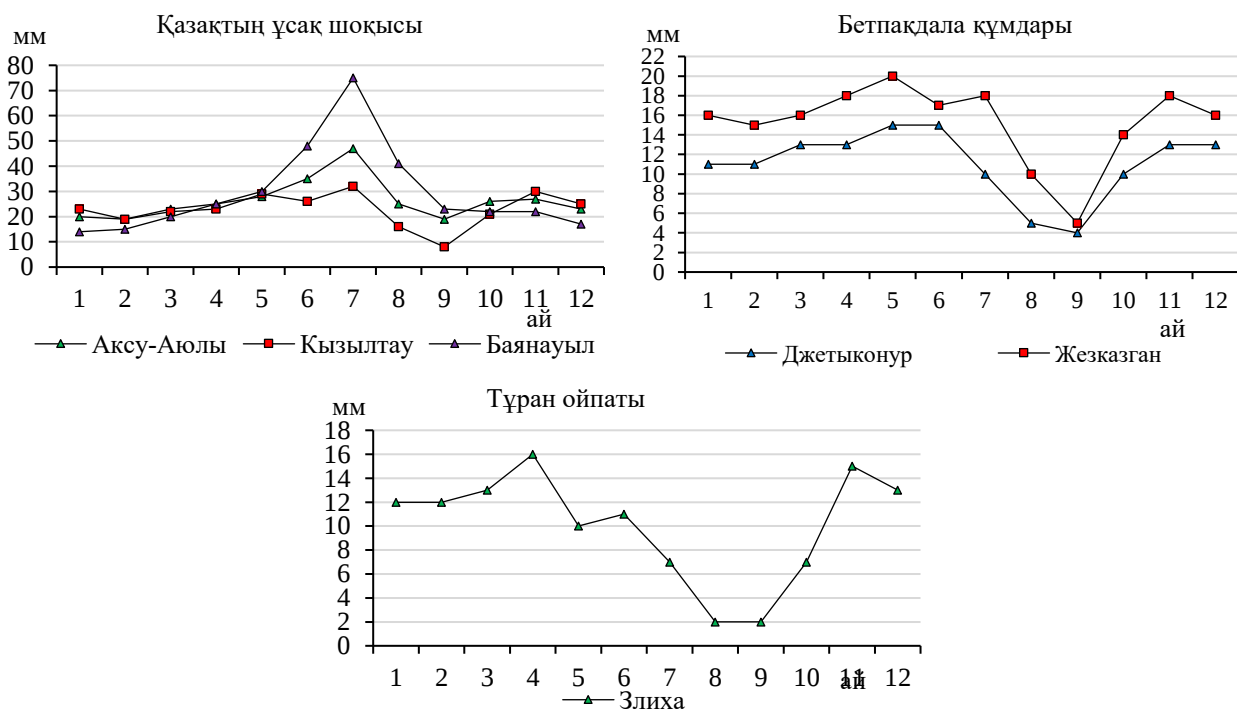
қарашада байқалады. Жылы кезеңнің ұзақтығы (орташа тәуліктік ауа температурасы  $0^{\circ}\text{C}$  - тан жоғары) орташа есеппен 200-230 күн. Ең жылы ай – шілде. Шілденің орташа айлық температурасы  $18,8^{\circ}\text{C}$ -тан  $27,4^{\circ}\text{C}$ -қа дейін өлшенеді. Шілде айында абсолютті максимум  $46^{\circ}\text{C}$  жетеді.

Жыл сайын барлық метеостанцияларда ең жоғары температура шілдеде, ең азы Қаңтарда байқалады. Қаңтардан ақпанға дейін орташа көпжылдық температураның жоғарылауы шамалы. Температураның айтарлықтай жоғарылауы ақпаннан наурызға дейін және сәуір-мамыр айларында температураның тез өсуі байқалады. Маусымнан шілдеге дейін орташа температура аздап көтеріледі.

Әрі қарай, температураның жоғарылау қарқындылығы төмендейді және шілдеден тамызға дейін құлдырау басталады. Температураның айтарлықтай төмендеуі қыркүйек қараша айларында байқалады. Температураның ең үлкен жылдық өзгергіштігі суық мезгілде, ал жылы мезгілде ең аз болады.

*Жауын-шашын.* Қарастырылып отырған аумақтағы атмосфералық жауын-шашын біркелкі бөлінбейді. Олардың солтүстік-батыстан оңтүстік-шығысқа қарай азаю заңдылығы көбінесе қазақтың ұсақ шоқысы әсерінен бұзылады.

Жыл ішінде ең көп жауын-шашын мөлшері ұсақ шоқылардың таулы аудандарында түседі (Ұлытау, Қарқаралы таулары ауданында 300-366 мм). Жауын-шашынның аз жылдық орташа мөлшері оңтүстік-батыс аудандарда байқалады - 147 мм (Жетіқоңыр). Аумақтың көп бөлігінде жауын-шашынның орташа жылдық мөлшері 100 – 155 мм аралығында болады.



Сурет 2.7 – Нұра-Сарысу алабы аумағындағы кейбір метеорологиялық станциялардың деректері бойынша атмосфералық жауын-шашынның (мм) жылдық жүрісі

Сарысу өзені алабы аумағының солтүстік-шығыс бөлігінде жауын-шашынның ең көп айлық мөлшері жаз айларына (маусым-шілде) келеді. Бірақ қарастырылып отырған аумақ жағдайында олар көбінесе топырақтың бетін сулайды және буланып кетеді. Оңтүстік-батыста жауын-шашынның максималды мөлшері көктем айларында (сәуір-мамыр) түседі. Жауын-шашынның ең аз мөлшері әдетте қыркүйекте болады.

Аудан климатының құрғақшылығы ұзақ жаңбырсыз кезеңдердің ұзақтығынан да көрініс табады. Оңтүстікте бұл кезеңдер 30-дан 50 күнге дейін жетеді. Көбінесе тамыз-қыркүйек айлары жаңбырсыз болады. Жазғы маусымда жауын-шашынның аз мөлшері бар жаңбыр топырақты әлсіз ылғалдандыратындықтан, құрғақ кезеңнің ұзақтығы жаңбырсыз кезеңдердің ұзақтығынан едәуір ұзағырақ.

Алаптың солтүстік және орталық бөлігінде жауын-шашынның максималды мөлшері жазда (маусым–шілде) байқалады. Алаптың оңтүстік бөлігінде орналасқан метеостанцияларда көктем айларында (сәуір-мамыр) ең жоғары жауын-шашын мөлшері байқалады. Көптеген метеостанциялардың мәліметтері бойынша ең аз жауын-шашын қыркүйек айында болады.

## **2.4 Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алаптарында ауа температурасының өзгеруі**

Қазіргі және заманауи климатты сипаттаушы климаттық айнымалыларды бағалау мақсатында стандартты (базалық) кезең ретінде ДМҰ ұсынысы бойынша 30 жылдық кезең, атап айтқанда 1961-1990 жж. пайдаланылады. Қазіргі таңда базалық кезең ретінде аталған кезеңді қолданады және осы кезеңнің орташа мәнін «норма», ал нормадан ауытқу – аномалия ретінде қабылданады.

Климаттың өзгеруі бір кезеңнен екінші кезеңге дейінгі айырмашылықпен бағаланады, зерттеу жұмысында бұл кезеңдер келесідей: 1961-1990 жж. – базалық; 1991-2020 жж. – заманауи кезеңдер.

Зерттеу жұмысында климаттың өзгеру сипаттамасы ретінде белгілі бір уақыт кезеңіндегі ең кіші квадраттар әдісімен бағаланған *сызықтық трендтің коэффициенті* қолданылады. Ол берілген уақыт кезеңіндегі гидрометеорологиялық шаманың өзгеруінің орташа жылдамдығын сипаттайды. Трендтің маңыздылығын шаманың дисперсиясының үлесі көрсетеді және қарастырылып отырған уақыт кезеңіндегі толық дисперсиядан пайыздық (%) көрсеткішпен беріледі.

Трендтің статистикалық маңыздылығы – климаттың стохастикалық үлгісі (гипотеза) шеңберінде қабылданған, 1 % немесе 5 % маңыздылық деңгейін қолдана отырып бағаланады. Яғни, зерттеу жұмысында қарастырылған метеорологиялық шамалардың статистикалық маңыздылығы берілген деңгейден асқан жағдайы қабылданды.

Есіл сушаруашылық алабы аумағында ауа температурасының өзгеруін зерттеу үшін ҚР ҰГМҚ бақылау желісінің алапта орналасқан 15

метеорологиялық станцияларының (2.1-кесте) 1941-2021 жж. орташа жылдық деректері пайдаланылды.

Кесте 2.1 – Есіл сушаруашылық алабында орналасқан метеорологиялық станциялар

| №  | Метеорологиялық станция | Синоптикалық индекс | Биіктігі, м | Ендік | Бойлық | Ашылған жыл | Облыс  |
|----|-------------------------|---------------------|-------------|-------|--------|-------------|--------|
| 1  | Благовещенка            | 28766               | 150,4       | 54.36 | 66.98  | 1937        | СҚО    |
| 2  | Возвышенка              | 28785               | 125,2       | 54.43 | 70.96  | 1931        | СҚО    |
| 3  | Петропавл               | 28679               | 100,3       | 54.82 | 69.12  | 1890        | СҚО    |
| 4  | Рузаевка                | 28966               | 226,3       | 52.82 | 66.96  | 1936        | СҚО    |
| 5  | Саумакөл                | 28877               | 325,0       | 53.31 | 68.12  | 1935        | СҚО    |
| 6  | Тайынша                 | 28873               | 155,5       | 53.86 | 69.81  | 1926        | СҚО    |
| 7  | Явленка                 | 28775               | 112,8       | 54.35 | 68.45  | 1902        | СҚО    |
| 8  | Ақкөл                   | 35086               | 383,4       | 51.99 | 70.94  | 1934        | Ақмола |
| 9  | Астана                  | 35188               | 349,3       | 51.17 | 71.39  | 1870        | Ақмола |
| 10 | Атбасар                 | 35078               | 301,9       | 51.84 | 68.36  | 1892        | Ақмола |
| 11 | Балкашино               | 28978               | 398,5       | 52.53 | 68.74  | 1934        | Ақмола |
| 12 | Есіл                    | 35067               | 218,9       | 51.96 | 66.39  | 1942        | Ақмола |
| 13 | Жалтыр                  | 35173               | 303,5       | 51.63 | 69.82  | 1942        | Ақмола |
| 14 | Көкшетау                | 28879               | 228,1       | 53.32 | 69.38  | 1895        | Ақмола |
| 15 | Щучинск                 | 28984               | 393,1       | 52.93 | 70.20  | 1935        | Ақмола |

1941-2021 жж. кезеңінде Есіл сушаруашылығы алабында ауа температурасының жоғарылауы жылдың барлық маусымдарында орын алған, бірақ ең үлкен өсу жылдың көктемгі және күзгі маусымдарында болғандығы анықталды (2.8-сурет).

Базалық кезеңдегі (1961-1990 жж.) алаптағы орташа жылдық ауа температурасы 1,9 °C құраса, ал қазіргі заманауи кезеңде (1991-2020 жж.) 2,7 °C, яғни ауа температурасының 0,8 °C-қа жоғары болғандығы байқалады. Жыл маусымдары бойынша келесі өзгерістер орын алған:

- көктемгі маусымда базалық кезеңдегі орташа жылдық ауа температурасы 2,6 °C, ал қазіргі кезеңде ол 3,7 °C дейін жетті. Ауа температурасы 1,2 °C көтерілді;

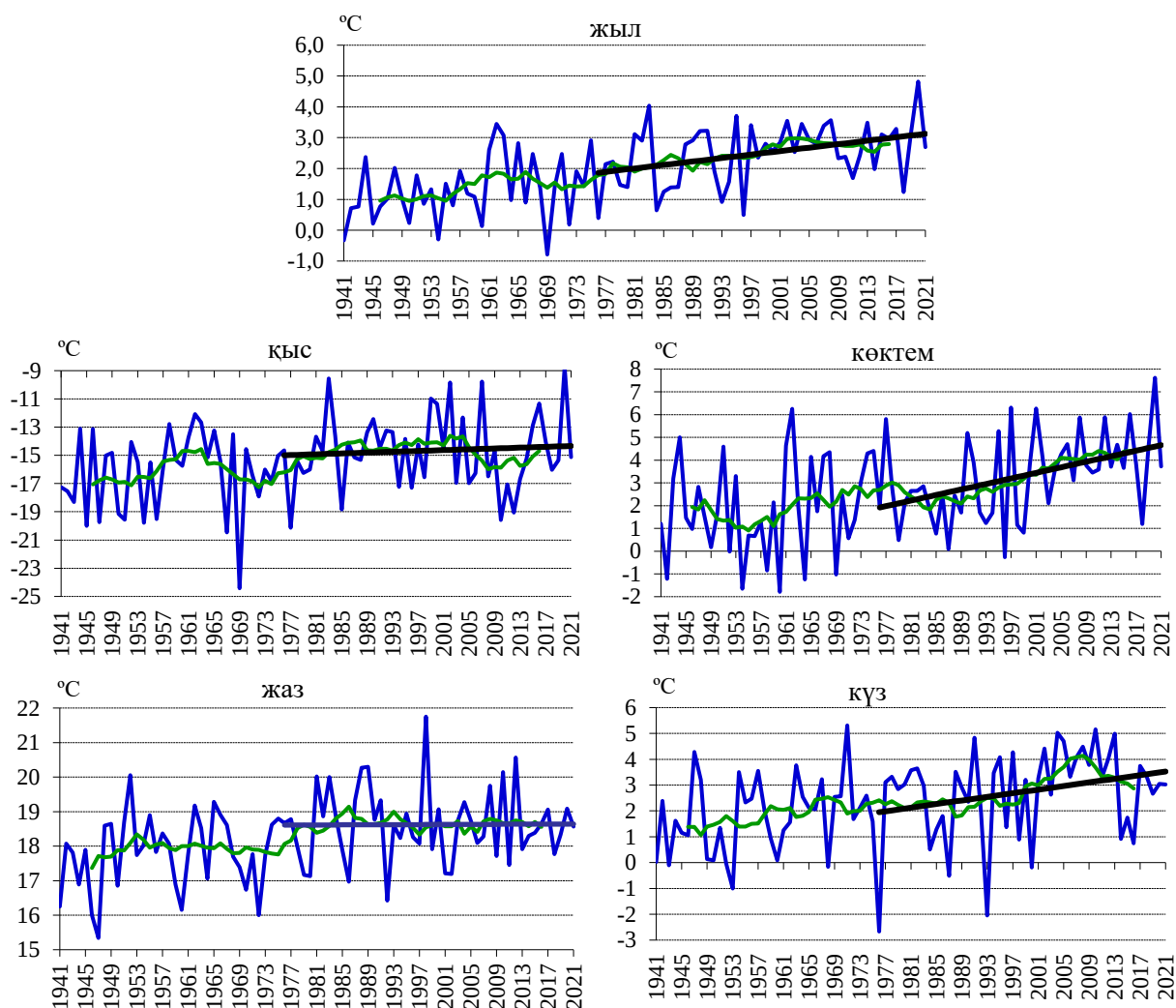
- қыс мезгілінде негізгі кезеңдегі орташа жылдық ауа температурасы -15,4 °C, ал қазіргі кезеңде -14,5 °C дейін жетті. Ауа температурасы 0,8 °C көтерілді;

- жазғы маусымда базалық кезеңдегі орташа жылдық ауа температурасы 18,4 °C, ал қазіргі кезеңде ол 18,6 °C дейін жетті. Ауа температурасы 0,2 °C көтерілді;

- күзгі маусымда негізгі кезеңдегі орташа жылдық ауа температурасы 2,2 °C, ал қазіргі кезеңде ол 3,0 °C дейін жетті. Ауа температурасы 0,8 °C көтерілді.

Орташа жылдық ауа температурасы көпжылдық 1941-2021 жж. кезеңінде Есіл сушаруашылығы алабында 0,29 °C/10 жыл жылдамдығымен жоғарылағандығы және оның статистикалық маңыздылыққа (детерминация коэффициенті 35 %) ие болғандығы анықталды. Қыс мезгілінде ауа

температурасы  $0,35\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ жыл}$  (8 %), көктемде  $0,40\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ жыл}$  (20 %), жазда  $0,17\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ жыл}$  (12 %), күзде  $0,27\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ жыл}$  (14 %) жылдамдығымен жоғарылағандығы байқалды. Жылдың барлық маусымдарында ауа температурасының жоғарылау тенденциясы статистикалық маңызды болды.



Сурет 2.8 – 1941-2021 жылдар кезеңіндегі Есіл сушаруашылық алабының орташа жылдық ауа температурасының жүрісі

Қазақстан территориясында климаттың жаһандық өзгеруі салдары 1970 жылдардың ортасынан орын алатындығын ескеретін болсақ, осы кезеңнен бастап ауа температурасының өзгеру тенденциясын қарастыру маңызды. Сондықтан Есіл сушаруашылығы алабында 1976-2021 жж. кезеңдер үшін ауа температурасының өзгеру тенденциясы қарастырылды.

Орташа жылдық ауа температурасы алапта 1976-2021 жж. кезеңінде әрбір 10 жылға  $0,29\text{ }^{\circ}\text{C}$  жоғарылайтындығы және статистикалық маңызды ( $R^2=15\%$ ) екендегі анықталды. Қыс мезгілінде ауа температурасы  $0,17\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ жылға}$ , көктемде  $0,64\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ жылға}$ , жазда  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ жылға}$  және күзде  $0,36\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ жылға}$  жоғарылайтындығы байқалады. Жылдың барлық маусымдарында ауа температурасының жоғарылауы байқалып, оның ішінде көктемгі ( $R^2=20\%$ )

және күзгі ( $R^2=7\%$ ) ауа температураларының жоғарылауы статистикалық маңыздылыққа ие болған.

Осылайша, 1941-2021 жж. бақылау кезеңдеріне мәліметтерге сәйкес, ауа температурасының жоғарылауы жылдың барлық маусымдарында, сәйкесінше жылдық таралуында байқалады. Әсіресе, көктем және күз мезгілдерінде ауа температурасының статистикалық маңызды жоғарылауы анықталды. Қарастырылып отырған аумақтағы ауаның орташа жылдық температурасы соңғы бірнеше онжылдықта артып келеді, оны тренд сызығы бойынша бағалауға болады (15-сурет).

**Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының ауа температурасының өзгеруі.** Ауа температурасының өзгеруін зерттеу үшін Нұра-Сарысу сушаруашылық алабы аумағында орналасқан ҚР ҰГМҚ бақылау желісінің 8 метеорологиялық станциясының (2.2-кесте) деректері пайдаланылды.

1941-2021 жылдардағы мәліметтерге сәйкес ауа температурасының жоғарылауы байқалады. Қарастырылып отырған аумақтағы орташа жылдық ауа температурасы соңғы бірнеше онжылдықта артып келеді, оны тренд сызығы бойынша бағалауға болады.

Кесте 2.2 – Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында орналасқан метеорологиялық станциялар

| № | Метеорологиялық станция | Синоптикалық индекс | Биіктігі, м | Ендік | Бойлық | Ашылған жыл | Облыс     |
|---|-------------------------|---------------------|-------------|-------|--------|-------------|-----------|
| 1 | Ақсу-Аюлы               | 35498               | 725,1       | 48.77 | 73.68  | 1938        | Қарағанды |
| 2 | Бесоба                  | 35396               | 715,9       | 49.35 | 74.48  | 1938        | Қарағанды |
| 3 | Жаңа-Арқа               | 35582               | 488,6       | 48.70 | 71.70  | 1937        | Қарағанды |
| 4 | Жарық                   | 35497               | 656,1       | 48.85 | 72.84  | 1937        | Қарағанды |
| 5 | Жезқазған               | 35671               | 346,4       | 47.80 | 67.70  | 1932        | Қарағанды |
| 6 | Қарағанды               | 35394               | 556,6       | 49.81 | 73.15  | 1932        | Қарағанды |
| 7 | Қызылжар                | 35576               | 362,1       | 48.30 | 69.70  | 1937        | Қарағанды |
| 8 | Баянауыл                | 36126               | 464,6       | 50.80 | 75.70  | 1925        | Павлодар  |

Ауа температурасының жоғарылауы жылдың барлық маусымдарында болады, бірақ ең үлкен өсу жылдың көктемгі және күзгі маусымдарында болады (2.9-сурет).

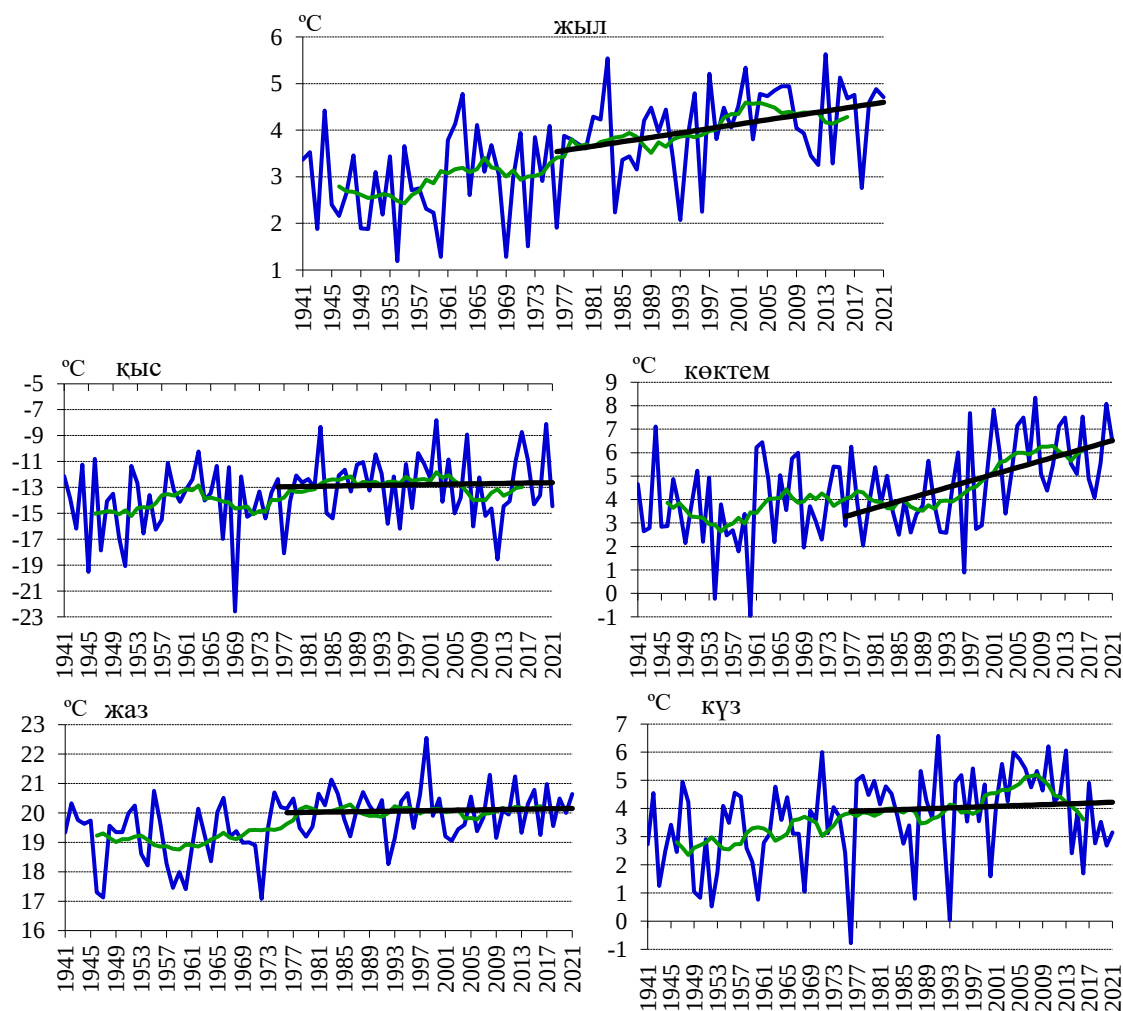
- базалық кезеңдегі орташа жылдық ауа температурасы (1961-1990)  $+3,5^{\circ}\text{C}$ , ал қазіргі кезеңде (1991-2020)  $+4,2^{\circ}\text{C}$ , бұл базалық кезеңге қарағанда  $0,7^{\circ}\text{C}$  жоғары.

- көктемгі маусымда базалық кезеңдегі орташа жылдық ауа температурасы  $+4,1^{\circ}\text{C}$ , ал қазіргі кезеңде ол  $+5,3^{\circ}\text{C}$  дейін жетті. Ауа температурасы  $1,2^{\circ}\text{C}$  көтерілді;

- қыс мезгілінде негізгі кезеңдегі орташа жылдық ауа температурасы  $-13,4^{\circ}\text{C}$ , ал қазіргі кезеңде  $-12,7^{\circ}\text{C}$  дейін жетті. Ауа температурасы  $0,7^{\circ}\text{C}$  көтерілді;

- жазғы маусымда базалық кезеңдегі орташа жылдық ауа температурасы  $+19,7^{\circ}\text{C}$ , ал қазіргі кезеңде ол  $+20,0^{\circ}\text{C}$  дейін жетті. Ауа температурасы  $0,3^{\circ}\text{C}$  көтерілді;

- күзгі маусымда базалық кезеңдегі орташа жылдық ауа температурасы  $+3,6^{\circ}\text{C}$ , ал қазіргі кезеңде ол  $+4,2^{\circ}\text{C}$  дейін жетті. Ауа температурасы  $0,6^{\circ}\text{C}$  көтерілді.



Сурет 2.9 – 1941-2021 жылдар кезеңіндегі Нұра-Сарысу сушаруашылық алабының орташа жылдық ауа температурасының жүрісі

1941-2021 жж. кезеңінде орташа жылдық ауа температурасы Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында  $0,26^{\circ}\text{C}/10$  жыл жылдамдығымен жоғарылауы және оның статистикалық маңыздылығы (детерминация коэффициенті 33 %) анықталды. Жыл мезгілдері бойынша ауа температурасының статистикалық маңызды жоғарылаулары байқалды: қыста  $0,29^{\circ}\text{C}/10$  жыл (6 %),  $0,37^{\circ}\text{C}/10$  жыл (21 %),  $0,18^{\circ}\text{C}/10$  жыл (17 %),  $0,21^{\circ}\text{C}/10$  жыл (11 %) жылдамдығымен.

1976-2021 жж. кезеңінде орташа жылдық ауа температурасының тенденциясы  $0,24^{\circ}\text{C}/10$  жыл жылдамдығымен, статистикалық маңызбен ( $R^2=12\%$ ) жоғарылаған. Жылдың маусымдарындағы ауа температурасының

өзгеру тенденциялары жоғарылау тенденцияларына ие болғандығын көрсетті. Қыста ауа температурасы  $0,07\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл жылдамдықпен жоғарыласа, көктемде  $0,72\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл, жазда  $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл және күзде  $0,22\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл жылдамдықтарымен жоғарылағандығы байқалады. Оның ішінде статистикалық маңызды жоғарылау көктем және күз мезгілдеріне сәйкес келетіндіктері анықталды, сәйкесінше детерминация коэффициенттері 28 және 11 % құрады.

Осылайша, 1941-2021 жж. кезеңінде Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында ауа температурасының барлық маусымдарда статистикалық маңызды өсуі, ал 1976-2021 жж. көктем мезгілінде статистикалық маңызды өсуі байқалған.

## **2.5 Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптарында жауын-шашынның байқалатын өзгерістері**

1976-2021 жылдар кезеңінде Қазақстан аумағы бойынша орташа жылдық және маусымдық жауын-шашын мөлшерінде үрдістер іс жүзінде жоқ – қатардың жалпы дисперсиясындағы трендік құрамдас бөлігінің үлесі 3 %-дан аспайды, қысқы, көктемгі, күзгі және жылдық жауын-шашын сомалары үшін трендтің белгісі – оң, ал күзгі жауын-шашын үшін – теріс (2.10-сурет).

Көптеген аймақтарда жылдық жауын-шашын мөлшерінің жоғарылауы мен төмендеу тенденциялары маңызды емес, себебі детерминация коэффициенті 3 % немесе одан аз. Ақмола облысында жауын-шашынның өсу қарқыны шамамен әрбір 10 жылға норманың 3 % құрады, детерминация коэффициенті 3 % құрады. Қызылорда және Маңғыстау облыстарында жауын-шашын мөлшері норманың 4-7 % / 10 жыл жылдамдығымен төмендеді детерминация коэффициенті 5-8 % (2-сурет Б-қосымшасы).

Қазақстан территориясы бойынша жауын-шашын мөлшерінің маусымдық және айлық бағыттарда өзгеруі әркелкілігімен сипатталады:

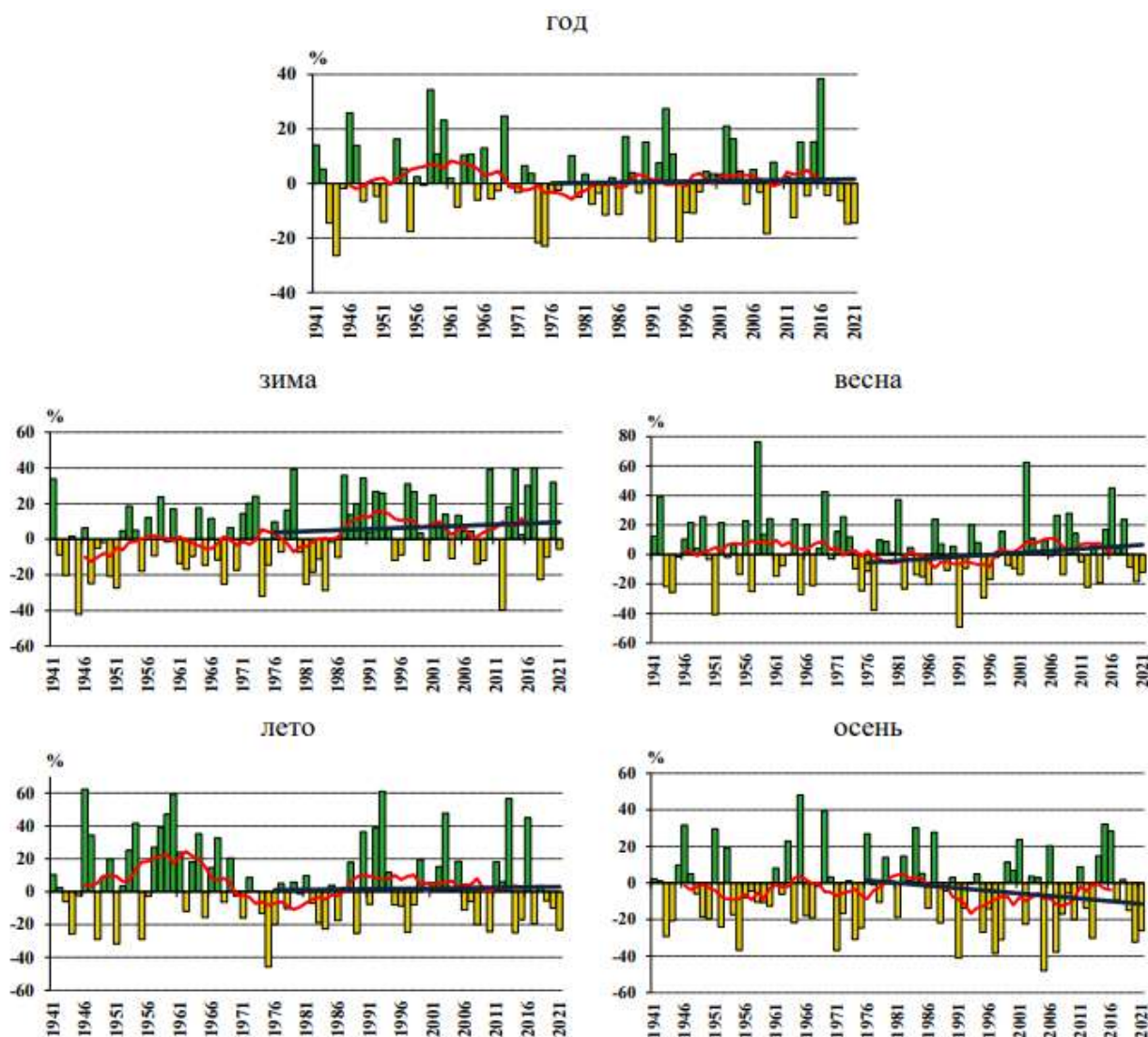
- Қыста жауын-шашын мөлшерінің өсуі бірнеше аймақтарда – солтүстік, оңтүстік-батыс және оңтүстік-шығыста (әрбір 10 жылға нормадан 10-15 % ұлғаюы) тіркелген. Ұлғаюға негізгі үлесті – ақпан айы қосқан. Ал жауын-шашын мөлшерінің маңызды азаюы (әрбір 10 жылға нормадан 10-15 % азаюы) солтүстік-батыс, оңтүстік аймақтарда байқалады;

- Көктемде жауын-шашын мөлшерінің маңызды ұлғаюы батыс және орталық аймақтарда (әрбір 10 жылға нормадан 2,7 %-ға азаюы) байқалады. Қазақстанның оңтүстік аймақтарында тенденция байқалмайды, тек кейбір үлкен емес аймақтарында жауын-шашын мөлшерінің азаюы байқалады. Көктем айларының ішінде наурыз айы ерекшеленеді, бұл кезде Қазақстан аумағының басым бөлігінде айлық жауын-шашын мөлшерінің айтарлықтай өсуі байқалады (кей жерлерде әр 10 жыл сайын орта есеппен 30-40 %-ға);

- Жазда республика аумағының батыс жартысы жауын-шашынның азаю аймағында, шығысы – өсу аймағында, бірақ екі белгінің тенденциялары сирек статистикалық маңызды;

- Күз айларында аумақтың көп бөлігі жауын-шашынның теріс тенденциясы аймағында болады. Күзгі маусымда жауын-шашын мөлшері

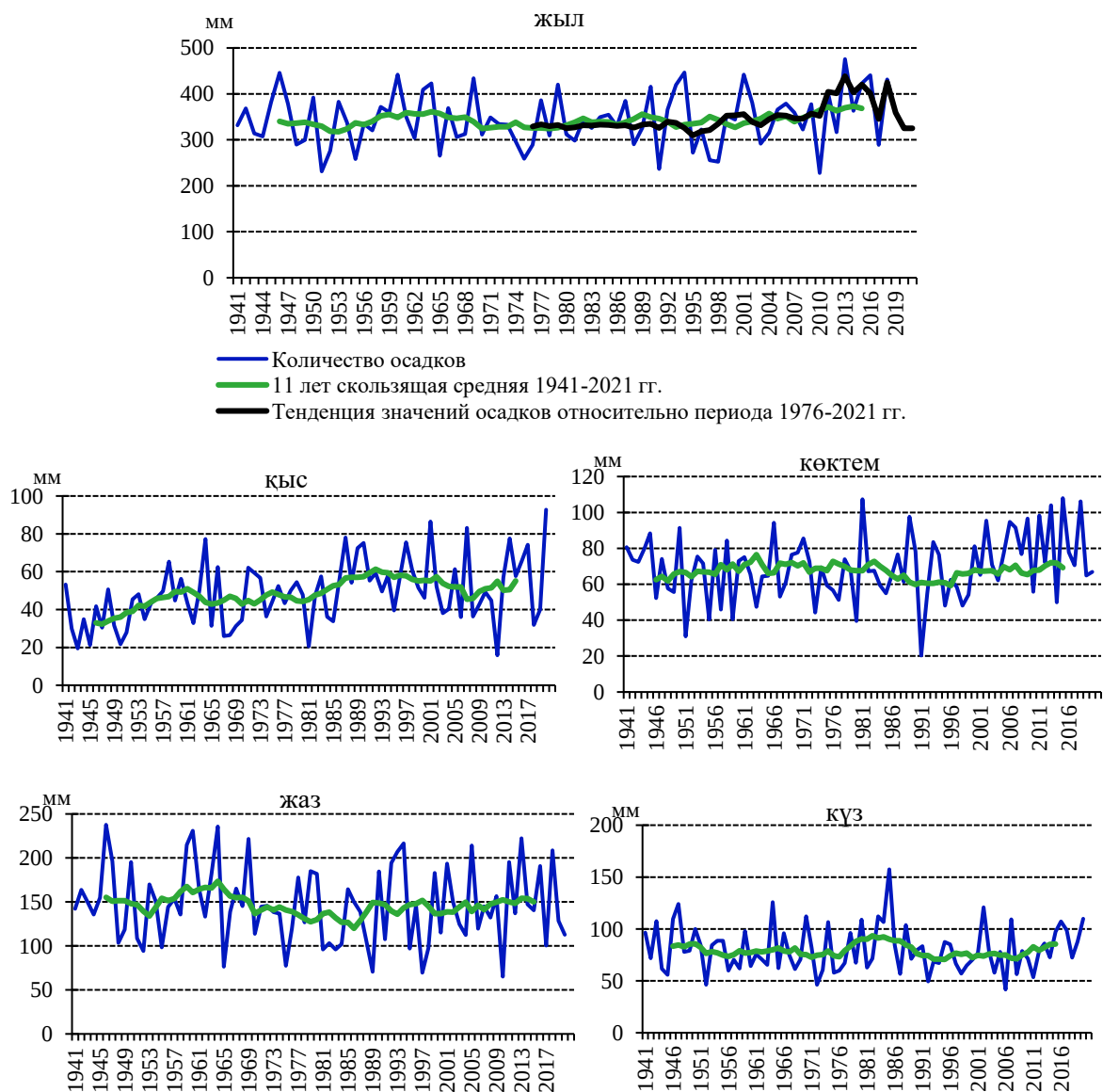
Ақтөбе, Қостанай, Қызылорда облыстарында және кейбір орталық және оңтүстік өңірлердегі станциялардың деректері бойынша, азайды (норманың 15-20 % / 10 жыл).



Сурет 2.10 – 1941-2021 жж. кезеңінде Қазақстан аумағы бойынша кеңістікте орташаланған жылдық және маусымдық жауын-шашын сомалары (%) аномалияларының уақыттық қатарлары. Ауытқулар 1961-1990 жылдардағы базалық кезеңге қатысты есептелген. 1976-2021 жылдардағы сызықтық тренд қара түспен ерекшеленеді. Тегістелген қисық 11 жылдық жылжымалы орташадан алынған [128]

Нәтижесінде, көптеген станциялардың мәліметтері бойынша, бұл өзгерістер статистикалық тұрғыдан маңызды емес, ал жауын-шашынның жылдық мөлшері кейбір солтүстік-батыс, орталық және оңтүстік аймақтарда айтарлықтай азаяды (норманың 6-12 %/10 жыл) және солтүстік аймақтағы бірнеше станциялардың мәліметтері бойынша ғана айтарлықтай артқан (норманың 6-8 % / 10 жыл).

**Есіл сушаруашылығы алабының жауын-шашын мөлшерінің өзгеруі.**  
 1941-2021 жж. бақылау мәліметтерінің деректері бойынша Есіл сушаруашылық алабында жауын-шашынның жыл ішіндегі жүрісінде айқын өзгерістер байқалмайды, тек соңғы онжылдықта оның ұлғаюы байқалады (2.11-сурет). Көктемде маусымдық сипатта соңғы екі онжылдықта жауын-шашынның көбеюі байқалады, ал қалған маусымдарда айқын өзгерістер байқалмайды.



Сурет 2.11 – 1941-2021 жылдар кезеңіндегі Есіл сушаруашылық алабының жауын-шашын мөлшерінің жүрісі

Осылайша:

- 1961-1990 жж. базалық кезеңде Есіл сушаруашылығы алабында жылдық жауын-шашынның орташа жылдық мөлшері 344 мм құраса, қазіргі заманауи 1991-2020 жж. кезеңінде оның 352 мм-ге дейін ұлғаюы байқалған;
- қыс мезгілінде базалық кезеңде жауын-шашын мөлшері 51 мм, ал қазіргі кезеңде жауын-шашын мөлшері 55 мм-ге дейін өскен;

- көктем мезгілінде жауын-шашын мөлшері базалық кезеңде 69 мм, қазіргі заманауи кезеңде – 73 мм құраған;
- жазғы маусымда базалық кезеңде – 145 мм, қазіргі кезеңде – 148 мм;
- күзгі маусымда базалық кезеңде – 79 мм, қазіргі кезеңде – 78 мм.

Алаптағы жауын-шашын мөлшері тенденциясының өзгеруін анықтау барысында 1941-2021 жж. жылдық жауын-шашын мөлшері 3,4 мм/10 жыл жылдамдығымен ұлғайғандығы анықталды. Жыл мезгілдері бойынша, жаз мезгілінен (1,06 мм/10 жыл) басқа кезеңдерде, жауын-шашын мөлшерінің 0,25 – 2,89 мм/10 жыл ұлғаюы байқалады. Оның ішінде статистикалық маңызды ұлғаю қыс мезгілінде 2,89 мм/10 жыл (детерминация коэффициенті 17 %) жылдамдығымен байқалған.

1976-2021 жж. жылдық жауын-шашын мөлшері алапта 8,22 мм/10 жыл жылдамдығымен ұлғаюы байқалған, алайда статистикалық маңыздылыққа ие болмағандығы анықталды. Жыл мезгілдері бойынша тек күзде жауын-шашын мөлшерінің азаюы (0,02 мм/10 жыл) байқалса, қалған мезгілдерде жауын-шашын мөлшерінің статистикалық маңызды емес ұлғаюы байқалады (2.11-сурет).

**Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының жауын-шашын мөлшерінің өзгеруі.** Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы жылдық бөліністе жауын-шашын мөлшерінің өзгеру динамикасында елеулі өзгерістер байқалмайды. Қысқы мезгілде барлық бақылау кезеңінде жауын-шашынның өсу үрдісі байқалады (12-сурет).

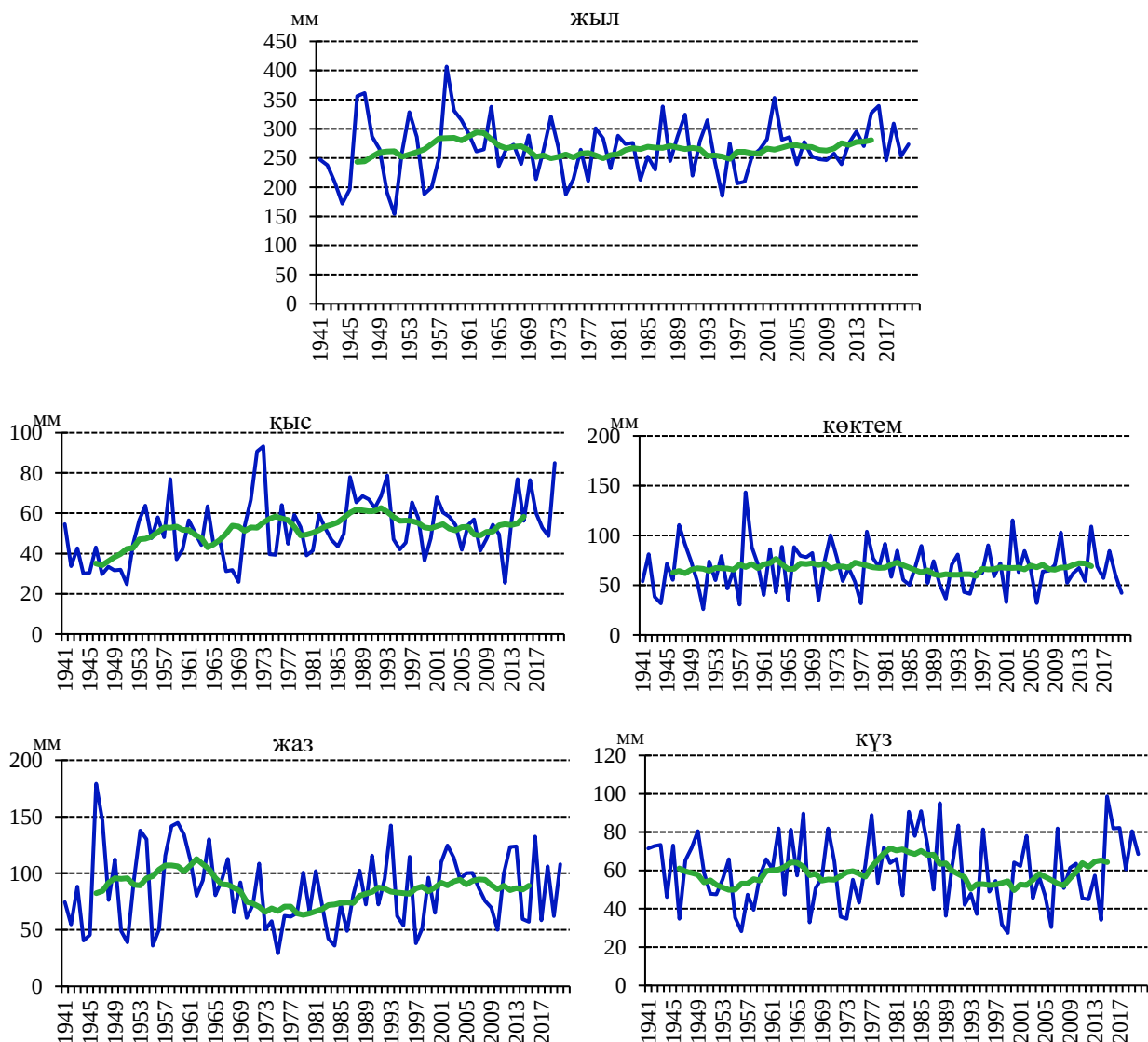
Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы жауын-шашынның орташа жылдық мөлшері екі кезеңде (базалық және заманауи) де 267 мм құрады. Ал жыл мезгілдері бойынша келесідей өзгерген:

- қыс мезгілінде базалық кезеңде жауын-шашын мөлшері 54 мм құраса, қазіргі кезеңде жауын-шашын мөлшері 56 мм-ге дейін өскен;
- көктем мезгілінде жауын-шашын мөлшері 67 мм, қазіргі кезеңде – 66 мм;
- жазғы маусымда базалық кезеңде – 86 мм, заманауи кезеңде 88 мм.
- күз мезгілінде базалық кезеңде – 59 мм, заманауи кезеңде – 57 мм құраған.

- Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында 1941-2021 жж. кезеңінде жылдық жауын-шашын мөлшері 1,8 мм/10 жыл жылдамдығымен өскен болса, жылдың жаз мезгілінен басқа кезеңдерде жауын-шашын мөлшерінің 0,22 – 2,21 мм/10 жыл жылдамдығымен ұлғайғандығы анықталды. Жаз мезгілінде жауын-шашын мөлшері 0,93 мм/10 жыл жылдамдығымен азайғандығы байқалған. Жылдың барлық мезгілдерінде, қыс мезгілін қоса есептегенде, жауын-шашын мөлшерінің өзгеру тенденциялары статистикалық маңыздылыққа ие болмаған. Қыс мезгіліндегі жауын-шашын мөлшері статистикалық маңызды 2,21 мм/10 жыл жылдамдығымен өскен.

- Ал 1976-2021 жж, кезеңде алаптағы жауын-шашын мөлшерінің өзгеруінде жылдық мөлшері 3,3 мм/10 жыл жылдамдығымен ұлғайса, жыл мезгілдері бойынша, күзгі жауын-шашынды есепке алмағанда, жалпы жауын-

шашын мөлшері 0,41 – 3,53 мм/10 жыл жылдамдығымен жоғарылаған. Күзгі жауын-шашын мөлшері 0,77 мм/10 жыл жылдамдығымен азайғандығы байқалады. Жылдық және жылдың барлық кезеңдеріндегі жауын-шашын мөлшерінің статистикалық маңыздылыққа ие болмағандығы анықталды.



Сурет 2.12 – 1941-2021 жылдар кезеңіндегі Нұра-Сарысу сушаруашылық алабының жауын-шашын мөлшерінің жүрісі

Қорытындылай келе, Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алаптарында климаттың өзгеруін зерттеу барысында 1941-2021 жж. кезеңінде жылдық және маусымдық таралауында ауа температурасының сәйкесінше Есіл алабында 0,29 °C/10 жылға, Нұра-Сарысу алабында 0,26 °C/10 жыл жылдамдығымен жоғарылағандығы байқалады. Ал климаттың өзгеруінің жаһандық өзгеруі бастау алған 1976-2021 жж. кезеңінде ауа температурасының 0,29 °C/10 жылға Есіл алабында және 0,24 °C/10 жылға Нұра-Сарысу алабында орын алуы анықталды. Екі кезеңде де ауа температурасының өсуі

статистикалық маңыздылыққа ие екендігі байқалды. Сонымен қатар, егер 1941-2021 жж. ауа температурасының өсуінің барлық маусымда статистикалық маңызды болуы анықталса, 1976-2021 жж. ауа температурасының статистикалық маңыздылығы көктем және күз айларында байқалатындығы анықталды. Сонымен қатар, жаһандық ауа температурасының өсуі бүкіл жер шары үшін 1976-2021 жж. 0,19 °C/10 жыл жылдамдығымен жоғарылағандығын ескере отырып, зерттеліп отырған Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптарында ауа температурасының жоғарылауы қарқынды жүруде деген тұжырым жасауға болады.

Жауын-шашын мөлшерінің 1941-2021 жж. кезеңдерде Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алаптарында сәйкесінше 3,4 мм/10 жыл және 1,8 мм/10 жыл жылдамдығымен ұлғайғандығы анықталды. Жыл мезгілдері бойынша жауын-шашын мөлшерінің өзгеруінде, жаз мезгілінен басқа мезгілдерде, өсу тенденциясы байқалатыны анықталды. Өсу тенденциясының статистикалық маңыздылығы қысқы жауын-шашындарға тән екендігі анықталды, яғни сәйкесінше Есіл алабында 2,89 мм/10 жылға және Нұра-Сарысу алабында 2,21 мм/10 жыл жылдамдығымен өскендігі байқалды. 1976-2021 жж. кезеңде жылдық жауын-шашын мөлшері Есіл сушаруашылық алабында 8,22 мм/10 жыл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында 3,3 мм/10 жыл жылдамдығымен өскендегі анықталды.

Жыл мезгілдерінде, күз маусымын ескермегенде, жауын-шашын мөлшерінің ұлғаю тенденциясы анықталды. Алайда, қарастырылып отырған екі алапта да жауын-шашын мөлшерінің өзгеру тенденциясы 1941-2021 және 1976-2021 жж. кезеңдерде статистикалық маңыздылыққа ие болмағандығы анықталды. Осылайша, алаптарға жауын-шашын мөлшерінің әртүрлі бағытты, статистикалық маңызды емес өзгерулері тән екендігі анықталды.

### 3 ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ЫЛҒАЛ ҚОРЫНЫҢ ӨЗГЕРУ ДИНАМИКАСЫ

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.

Қазақстан аумағы шұғыл континенталды климатқа жатады. Республиканың солтүстігінде суық мезгілдің ұзақтығы жарты жылға дейін созылады. Өз кезегінде қар жамылғысы тек қыс мезгіліндегі жауын шашын-мөлшерінің аккумуляторы ғана емес, сонымен бірге көктемгі ылғал қорының көзі болып табылады. Қар жамылғысының ылғал қоры егіс алдындағы кезеңде топырақтың көктемгі ылғалдануын анықтайды, қар жамылғысы мөлшерінің тапшылығы құрғақшылыққа алып келеді. Сонымен бірге, қар жамылғысының көктемгі еруі су деңгейінің көтерілуіне, су тасқыны мен төтенше жағдайлардың туындауына алып келуі мүмкін. Қар жамылғысының жату шекарасы, биіктігі және жату ұзақтығы климаттың өзгеруінің сезімтал индикаторы болып табылады. Жалпы қар жамылғысы су ресурстарына, ауыл шаруашылығына, көлік, құрылыс, рекреацияға әсер етеді.

Зерттеу жұмысының өзектілігі қар жамылғысының климаттың маңызды бөлігі болуымен, жергілікті мәселе тұрғысынан оның ауа райына, гидрологиялық және топырақтық процестеріне әсер етуші климат түзуші негізгі фактор болуымен және жаһандық климаттың өзгеруі салдарынан климаттық ресурстардың өзгеруін бағалаумен анықталады. Сонымен қатар, Қазақстанның құрғақ климаттық жағдайында өзендердің қорегі мен көктемгі топырақ ылғалдануының қосымша ылғал қоры ретінде экономиканың шаруашылық салаларында үлкен мәнге ие.

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. Сондықтан қар жамылғысының пайда болу процестері, оны пайдалау және оның еруі халық шаруашылығында үлкен маңызға ие.

Одан басқа, республикамыздың климаттық ресурстарын бағалау мақсатында қар жамылғысы сипаттамаларының таралу заңдылықтарын зерттеу маңызды. Қыс мезгілінде ауа райы болжау кезінде қар жамылғысын ескерген жөн, себебі қар жамылғысы төселме беткейдің альбедосын айтарлықтай өзгеруіне алып келеді [132].

Жыл сайын Жер беткейінің шамамен 130 млн.км<sup>2</sup> аумағына қар жауып, дефляциялық аумақтарды құрайды [133]. Дефляциялық аумақтың 8/1 бөлігін мұздықтар құрайды. Аталған аудандардағы қар метаморфизм деңгейінде түседі де мұздықтарды қоректендіруге жұмсалып [134], атмосфераның жаһандық метеорологиялық жағдайының қалыптасуына әсер етеді. Мұздықтан бос Жер беткейінің құрлықтың жарты бөлігін қар жауады [135]. Оның еруі нәтижесінде

топырақ ылғалданады, өзендерді су деңгейінің көтерілуі орын алады, ал таулы аудандарда сел қаупі туындайды.

### **3.1 Қар жамылғысының ылғал қорының өзгеру динамикасы**

Қар жамылғысы – ауа-райының қалыптасуына айтарлықтай әсер ететін қуатты климат түзуші және климаттық, гидрологиялық, гляциологиялық процестердің өзара әрекеттесуінде маңызды рөл атқарушы фактор [47,136,137].

Қар жамылғысын бақылау: метеорологиялық алаңдарда тұрақты рейкалар бойынша күнделікті бақылаулар, тұрақты қар өлшеуіш учаскелерде онкүндік бақылаулар және максималды қар жинақтау кезеңінде жыл сайынғы кеңейтілген қар өлшеуіш түсірілім жүргізуді қамтиды [48].

Қар жамылғысының негізгі климаттық сипаттамаларына қар жамылғысындағы ылғал қоры жатады. Шетелдік әдебиеттерде ол қардың су эквиваленті (Snow Water Equivalent) деп аталады. Өз кезегінде, бұл өзендердің қосымша қоректену көзі бола отырып, топырақта, гидрологиялық циклде ылғал қорының жиналуында маңызды рөл атқарады [136].

Қар жамылғысының сипаттамаларының кеңістіктік өзгергіштігі және олардың макромасштабтағы құрылымының ерекшеліктері жер бетінің атмосферамен энергия және масса алмасу процестерінде маңызды рөл атқарады. Қар жамылғысының макромасштабты өзгергіштігі құрлықтың гидрологиялық циклінің процестеріне, атап айтқанда, ірі өзендердің су режимін анықтайтын көктемгі-жазғы су тасқынының қалыптасуына айтарлықтай әсер етеді [138]. Қар жамылғысы мен қардың еруі гидрологиялық циклде, жердің көп бөлігінде жер мен атмосфераның жылу алмасуында маңызды рөл атқаратындығын айта кету керек [139]. Сондай-ақ, қар жамылғысының өзгеруі температураның, жауын-шашынның, еру жиілігінің өзгеруін көрсететін суық мезгілдегі климаттың өзгеруінің кешенді көрсеткіші болып саналады. Сонымен қатар, қар жамылғысы көптеген табиғи процестерге, соның ішінде экономика салаларына шешуші әсер етеді [140].

Климаттық ресурстарды бағалау үшін қар жамылғысының сипаттамаларының таралу заңдылықтарын зерттеу маңызды. Жазық жерлерде қар жамылғысының қалыптасу процестері кеңістіктік масштабтың кең ауқымында айтарлықтай өзгергіштікпен сипатталады [138].

Өз кезегінде Қазақстан маусымдық қар жамылғысы аймағына кіреді және оның тек биік таулы аймақтары ғана мәңгілік қар аймағына жатқызылуы мүмкін [136].

**Зерттеу мәліметтері.** Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптарында қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру динамикасын зерттеу мақсатында «Қазгидромет» РМК мемлекеттік бақылау желісінің 1971 – 2020 жж. кезеңіндегі мәліметтері қолданылды. Есіл сушаруашылығы алабындағы қар жамылғысы ылғал қоры мен оның өзгеру тенденциясын зерттеу үшін алапта орналасқан 24 метеорологиялық станциясының (21-сурет) және Нұра-Сарысу сушаруашылық алабы үшін 12 метеорологиялық станциясының (сурет) мәліметтері қолданылды.

**Зерттеу әдістері.** Климатологияда көптеген тапсырмаларды орындау, мәселен, заманауи климаттық өзгерулерді талдау, бақылау, модельдеу және болжау, ұзақ уақыттық бақылау қатарларының мәліметтері қажет етеді. 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 қалыпқа келтіру [141]. Қазіргі таңда гидрометеорология саласында мәліметтерді қалпына келтірудің көптеген әдістері әзірленген. Бұл жұмыста уақыттық қатарлардағы үзілістерді қалпына келтіру үшін бір немесе бірнеше аналог-станциялардың негізінде жұптық немесе көптік регрессия теңдеулері (3.1-теңдеу) негізінде әрбір станция үшін жеке аналог-станция таңдалып жүргізілді:

$$Y = k_0 + k_1 Y_1 + \dots + k_n Y_n \quad (3.1)$$

Уақыттық қатарлардағы үзілістерді сапалы түрде қалпына келтіру мақсатында регрессия теңдеулеріне тиімділік критерийлері қолданылуы тиіс. [142] жұмысында әрбір регрессия теңдеуін құру кезінде келесі негізгі 4 шарттың орындалу (3.2-теңдеу) қажеттілігі берілген:

$$n' \geq 6 - 10; R \geq R_{кр}; R/\sigma_R \geq A_{кр}; k/\sigma_k \geq B_{кр} \quad (3.2)$$

Климатологиялық тәжірибеде деректерді талдаудың бастапқы кезеңінде әртүрлі статистикалық тесттерді қолдана отырып, метеорологиялық қатарлардың бақылау нәтижелерінің біртектілігіне тексеру жүргізеді [143]. Аталған мақсатта барлық бақылау мәліметтері деректері ДМУ нұсқаулығына [144] 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 1991-2020)  $\alpha = 0,05$  маңыздылық деңгейінде сәйкесінше Стьюденттің t-критерийін және Фишердің F-критерийін қолдана отырып жүргізілді.

Стьюденттің t-критерийі статистикасының есептік мәні 3.3-теңдеу бойынша анықталады. Әрі қарай Стьюденттің t-критерийі бойынша біртектілікті (стационарлықты) бағалау t есептелген мәндерін және t\*-статистикасының сыни мәндерін салыстыру арқылы жүзеге асырылады.

$$t = \frac{Y_{орташа1} - Y_{орташа2}}{\sqrt{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 2)}{n_1 + n_2}} \quad (3.3)$$

мұндағы,  $Y_{орташа1}$ ;  $Y_{орташа2}$ ;  $\sigma_1^2$ ;  $\sigma_2^2$  – сәйкесінше екі дәйекті үлгінің орташа мәндері мен дисперсиялары;

$n_1$  и  $n_2$  – қатардың саны.

Егер (3.4) формула бойынша алынған  $t$  есептік мәні берілген маңыздылық деңгейіндегі  $t^*$  критикалық мәнінен үлкен болса, онда біртектілік гипотезасы (бұл жағдайда гетерогенді қатардың 2 бөлігі үшін) ауытқиды және қарастырылып отырған гидрологиялық сипаттаманың сериясы гетерогенді деп танылады.  $t^*$  критерийінің сыни мәні Әдістемелік нұсқаулыққа сәйкес анықталады.

Фишердің біртектілік критерийі ( $F$ ) 3.2-теңдеу бойынша анықталады:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \quad (3.4)$$

мұндағы,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  – қатарлар бойынша есептелген орташа квадраттық ауытқулар, оларға қатысты біртектілік анықталады.

Дисперсиялардың біртектілігі (стационарлығы) туралы Гипотеза, егер  $F$  критерийі статистикасының есептік мәні  $n_1$  және  $n_2$  үлгілерінің көлемдеріне сәйкес берілген еркіндік дәрежелерінде  $F^*$  критикалық мәнінен аз болса,  $\alpha$ , % мәнінің берілген деңгейінде қабылданады.

Студенттік  $t^*$  және Фишер  $F^*$  статистикасының маңызды мәндері  $\alpha$ , % маңыздылық деңгейіне, қатардағы корреляция ішіндегі коэффициентке,  $r$  (1) және асимметрия коэффициенттеріне байланысты әдістемелік нұсқаулыққа сәйкес анықталады [142].

Осылайша, уақыттық қатарлардың біртектілігін немесе стационарлығын бағалаудың статистикалық критерийлерін қолдану ұсынылған біртектілік гипотезасын растауға немесе жоққа шығаруға мүмкіндік береді.

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) 3.5-теңдеу [145] бойынша есептелді:

$$\sigma_{Q_0} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

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

Вариация коэффициентінің салыстырмалы орташа квадраттық қателігі 3.6-теңдеудің көмегімен [145] анықталды:

$$\sigma_{C_v} = \frac{\sqrt{1+C_v^2}}{\sqrt{2n}} \cdot 100\% \quad (3.6)$$

Егер қарастырылып отырған кезең репрезентативті болса және көпжылдық шаманың  $\overline{SWE_{max}}$  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 1995-2020 жылдардағы қатарынан екі кезеңдегі орташа көпжылдық мәндерді салыстыру арқылы және уақыттық қатарлардың сызықтық аппроксимациясы (жуықтау) арқылы бағаланды. 1971-1994 жылдардағы базалық кезеңге қатысты есептелген 1995-2020 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 кең қолданысқа ие Манн-Кендаллдың параметрлік емес тесті (3.7-3.10 теңдеулер) қолданылды [146,147]. Бұл тест  $Y$  мәндерінің уақыт өте келе ұлғаю немесе төмендеу үрдісі бар-жоғын бағалайды, бұл монотонды трендті регрессиялық талдаудың параметрлік емес түрі болып табылады.

Манн-Кендалл тесті  $S$  статистикасы 3.7-теңдеумен есептеледі:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (3.7)$$

мұндағы,  $n$  – бақылау саны,  $x_j, x_i$  –  $j$  және  $i$  уақыттық қатарындағы сәйкесінше мәліметтер,  $\text{sgn}(x_j - x_i)$  – сәйкесінше уақыттық қатар таңбасы:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{if } x_j - x_i > 0 \\ 0, & \text{if } x_j - x_i = 0 \\ -1, & \text{if } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

Дисперсия келесідей есептеледі:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3.9)$$

мұндағы,  $n$  – деректер саны,  $m$  – байланысты топтардың саны, ал  $t_i$  –  $i$  дәрежелі байланыстардың саны және  $t_i$  –  $i$  дәрежелі байланыстардың санын білдіреді. Үлгі көлемі  $n > 10$  болған жағдайда  $Z_S$  стандартты қалыпты сынақ статистикасы теңдеу арқылы есептеледі:

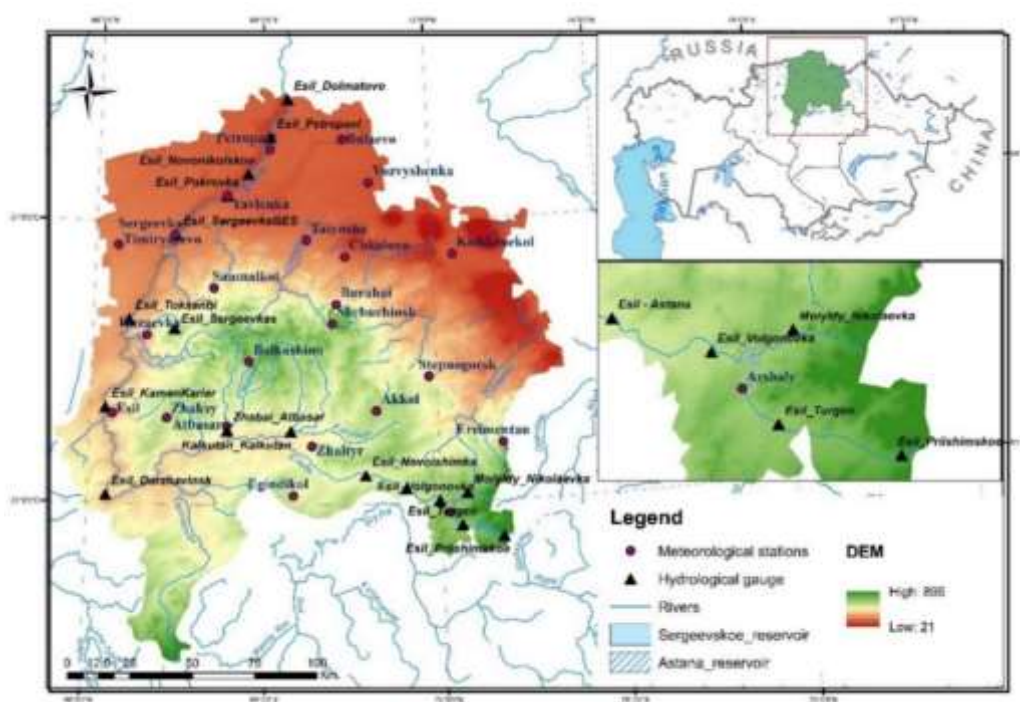
$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

$Z_s$  оң мәндері өсу тенденцияларын, ал теріс мәндері төмендеуді көрсетеді. Трендтерді тексеру  $\alpha$  маңыздылығының нақты деңгейінде жүзеге асырылады. Егер  $|Z_s| > Z_{1-\alpha/2}$  болса, онда нөлдік гипотеза қабылданбайды және уақыт қатарында маңызды тенденция бар.  $Z_{1-\alpha/2}$  стандартты қалыпты үлестіру кестесінен алынады. Бұл зерттеуде  $\alpha = 0,05$  маңыздылық деңгейі пайдаланылды. 5% маңыздылық деңгейінде, егер  $|Z_s| > 1.96$  болса, нөлдік тренд жоқ гипотеза қабылданбайды.

Манн-Кендалл статистикалық тесті гидрометеорологиялық уақыт қатарындағы тенденциялардың маңыздылығын сандық бағалау үшін жиі қолданылады.

### 3.1.1 Есіл сушаруашылық алабында қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру динамикасы

Есіл сушаруашылығы алабында қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру динамикасын зерттеу үшін алапта орналасқан 24 метеорологиялық станциялардың (3.1-сурет) ылғал қоры мәліметтері жиналып, бақылау мәліметтері жоқ жылдардың мәндері аналогия әдісі бойынша қалыпына келтірілді.



Сурет 3.1 – Есіл сушаруашылығы алабындағы метеорологиялық станциялардың орналасу картасы

Бақылау қатарында регрессия теңдеуін құру кезінде негізгі 4 шарттың орындалуы қамтамасыз етілді. Яғни, аналог-станция мен қалпына келтірілетін станция мәліметтері арасындағы байланысты көрсететін – корреляция коэффициенті сәйкесінше  $R \geq 0,7$ , регрессия теңдеуі құрылған жылдар саны да  $n' \geq 6 - 10$  көп болды, сонымен бірге коэффициенттердің олардың орташа квадраттық қателіктеріне қатынасы  $A_{кр}$  және  $B_{кр} \geq 2,0$  шамасынан төмен болды (3-кесте). Сонымен қатар, екі метеорологиялық станция арасындағы физико-географиялық ерекшеліктердің ұқсас болу шарты да сақталды.

Қар жамылғысындағы максималды ылғал қоры мәліметтері, толығымен қалпына келтірілген үзілістерді қоса алғанда, В қосымшасының 1-кестесінде берілген (1-кесте В қосымшасы).

Кесте 3.1 – Жекелеген станциялар бойынша қардағы ылғал қорларын қалпына келтіру туралы мәліметтер

| №  | Метеорологиялық станция | Аналог-станция | Регрессия теңдеуі  | Теңдеу алынған кезең | Жыл саны | R    | Қалпына келтірілген жыл |
|----|-------------------------|----------------|--------------------|----------------------|----------|------|-------------------------|
| 1  | Булаево                 | Возвышенка     | $y=0,7644x+23,945$ | 1992-2011            | 20       | 0,76 | 1991                    |
| 2  | Петропавл               | Булаево        | $y=0,9051x+9,8721$ | 1992-2011            | 20       | 0,75 | 2019                    |
| 3  | Рузаевка                | Жақсы          | $y=1,101x+4,531$   | 1971-2017            | 47       | 0,70 | 2018, 2019              |
| 4  | Сергеевка               | Тимирязево     | $y=0,9654x+9,2392$ | 1999-2019            | 21       | 0,82 | 1997, 1998              |
| 5  | Чкалово                 | Көкшетау       | $y=0,6134x+4,3537$ | 1999-2019            | 21       | 0,78 | 1998                    |
| 6  | Явленка                 | Благовещенка   | $y=0,8839x-14,258$ | 1999-2019            | 21       | 0,92 | 1995, 1998              |
| 7  | Ерейментау              | Степногорск    | $y=0,7765x+17,574$ | 1971-1994            | 24       | 0,82 | 1995                    |
| 8  | Егіндікөл               | Сергеевка      | $y=0,503x+48,787$  | 2010-2019            | 10       | 0,85 | 1971-1973               |
| 9  | Есіл                    | Атбасар        | $y=0,5884x-6,2152$ | 1971-1994            | 24       | 0,72 | 2019                    |
| 10 | Жақсы                   | Есіл           | $y=1,2157x+19,743$ | 2010-2019            | 10       | 0,85 | 2009                    |
| 11 | Щучинск                 | Ерейментау     | $y=0,9557x+25,74$  | 2010-2019            | 10       | 0,89 | 2007                    |

Қалпына келтірілген мәліметтер әрі қарай статистикалық өңдеу – біртектілікке тексеруден өтіп, келесі нәтижелерді (3.2-кесте) көрсетті:

- Фишердің F-критерий бойынша уақыттық қатардың сыни мәні  $F_\alpha = 2,27$  салыстыру арқылы Благовещенка, Булаево, Возвышенка, Кішкенекөл, Рузаевка, Тайынша, Аршалы, Ерейментау, Жақсы станциялары қар жамылғысы ылғал қоры мәліметтерінің біртектілігі бұзылғандығы анықталды;

- Стьюденттің t-критерийі тесті бойынша  $t^*$  статистикасының сыни мәні  $t_\alpha = 2,012$  салыстыру арқылы алынған нәтижеге сәйкес, Рузаевака, Саумалкөл, Жақсы станцияларының мәліметтері біртекті болмады;

- Вилькокسونның U критерийі ( $U_1=202$ ,  $U_2=398$ ) негізінде Рузаевка, Саумалкөл, Сергеевка, Жақсы, Щучинск станцияларында қатарлардың біртектілігі бұзылғандығы анықталды.

Маңыздысы, егер 3 сынақтың біреуі орындалмаса, уақыттық қатар біртекті болып саналады, ал егер 3 сынақтың екеуі немесе барлығы орындалмаса, уақыттық қатар біртектілігі бұзылған деп қабылдануы тиіс.

### Кесте 3.2 – Бақылау қатарларын біртектілікке тексеру нәтижесі

| №  | МС           | Фишер критерийі |       | Стъюдент критерийі |       | Уилкоксон критерийі |       |
|----|--------------|-----------------|-------|--------------------|-------|---------------------|-------|
|    |              | F/Fa            | шешім | t/ta               | шешім | U                   | шешім |
| 1  | Благовещенка | 2,931           | жоқ   | 1,77               |       | 379                 |       |
| 2  | Булаево      | 2,74            | жоқ   | 0,228              |       | 282                 |       |
| 3  | Возвышенка   | 2,294           | жоқ   | 1,555              |       | 205                 |       |
| 4  | Кішкенекөл   | 2,54            | жоқ   | 0,069              |       | 243                 |       |
| 5  | Петропавл    | 1,02            |       | 0,425              |       | 325                 |       |
| 6  | Рузаевка     | 5,44            | жоқ   | 4,876              | жоқ   | 533                 | жоқ   |
| 7  | Саумалкөл    | 1,821           |       | 2,692              | жоқ   | 446                 | жоқ   |
| 8  | Сергеевка    | 1,423           |       | 1,929              |       | 404                 | жоқ   |
| 9  | Тайынша      | 2,937           | жоқ   | 1,451              |       | 374                 |       |
| 10 | Тимирязево   | 2,009           |       | 0,548              |       | 246                 |       |
| 11 | Чкалово      | 2,112           |       | 1,231              |       | 346                 |       |
| 12 | Явленка      | 1,236           |       | 1,316              |       | 253                 |       |
| 13 | Ақкөл        | 1,197           |       | 0,71               |       | 329                 |       |
| 14 | Аршалы       | 3,233           | жоқ   | 0,198              |       | 258                 |       |
| 15 | Атбасар      | 1,217           |       | 1,381              |       | 224                 |       |
| 16 | Балкашино    | 1,26            |       | 1,655              |       | 377                 |       |
| 17 | Егіндікөл    | 1,027           |       | 0,763              |       | 326                 |       |
| 18 | Ерейментау   | 2,38            | жоқ   | 1,171              |       | 210                 |       |
| 19 | Есіл         | 1,163           |       | 1,202              |       | 354                 |       |
| 20 | Жақсы        | 2,989           | жоқ   | 4,111              | жоқ   | 494                 | жоқ   |
| 21 | Жалтыр       | 1,46            |       | 0,133              |       | 293                 |       |
| 22 | Көкшетау     | 1,983           |       | 1,855              |       | 388                 |       |
| 23 | Степногорск  | 1,314           |       | 0,139              |       | 305                 |       |
| 24 | Щучинск      | 1,584           |       | 1,915              |       | 403                 | жоқ   |

\*бос ұяшықтар біртектіліктің бұзылмағандығын білдіреді.

Осылайша, алынған нәтижеге сәйкес, Рузаевка, Саумалкөл және Жақсы метеорологиялық станцияларының қар жамылғысындағы максималды ылғал қор мәліметтері уақыттық қатарларында біртектіліктің бұзылғандығы анықталды, ал қалған метеорологиялық станциялардың уақыттық қатарлары статистикалық біртектілікті көрсетті.

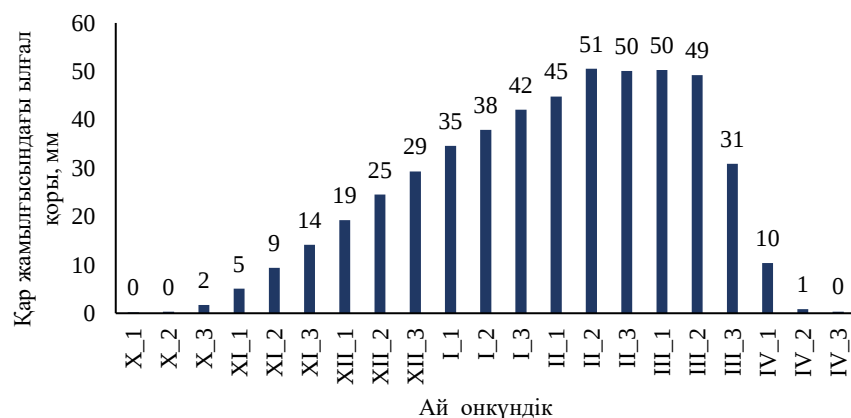
#### 3.1.2 Тұрақты қар жамылғысының орнатылуы және жойылуы

1971-2020 жж. кезеңінде Есіл сушаруашылығы алабында орналасқан метеорологиялық станциялардың бақылау мәліметтерін талдау барысында, алап үшін орташа алғанда қар жамылғысы қазанның үшінші онкүндігінде (X\_3) орнатылып, тұрақты түрде өсе отырып, ақпанның екінші онкүндігі (II\_2) мен наурыздың бірінші онкүндігі (III\_1) арасында өзінің максималды мәніне жетеді. Қар жамылғысының максималды ылғал қоры орнатылғанға дейін ылғал қоры 1-6 мм/онкүндікке өссе, алап үшін орташа есеппен 4 мм/онкүндік жылдамдығымен өседі (3.3-сурет).

Сонымен бірге, көпжылдық мәліметтерге сәйкес, қар жамылғысының толығымен жойылуы сәуір айының үшінші онкүндігіне (IV\_3) сәйкес келетіндігін көруге болады. Қар жамылғысының еру кезеңі алап үшін ақпан айының үшінші онкүндігі (II\_3) мен наурыз айының екінші онкүндігіне (III\_2)

сәйкес келеді. Қар жамылғысының еру жылдамдығы Есіл сушаруашылық алабында 1-21 мм/онкүндікке ерісе, орташа алғанда 10 мм/онкүндікке еритіні байқалады.

Тұрақты қар жамылғысының пайда болу және жойылу ерекшеліктері климаттық жүйенің маңызды сипаттамасы болып табылады. Қар жамылғысы ашық топырақпен салыстырғанда жер бетінің радиациялық және жылу балансының айтарлықтай өзгеруіне ықпал етеді, ал тұрақты қар жамылғысының орнатылған және жойылған күндері қардың маусымдық динамикасын көрсетеді. Қар жамылғысының түсуі жанама түрде топырақтағы ылғал қорын, құрғақ құбылыстардың даму ықтималдығын, ықтимал өнімді бағалауды және т. б. көрсетуі мүмкін.



Сурет 3.2 – Есіл сушаруашылық алабында 1971-2020 жылдар кезеңінде қар жамылғысындағы ылғал қорының онкүндіктер бойынша таралуы

Жұмыстың берілген тараудағы міндеті – Есіл сушаруашылығы алабында қар жамылғысының қалыптасуы мен бұзылуының ағымдағы үрдістерін 1971-2021 жж. көпжылдық деректер бойынша бағалау. Қар жамылғысын зерттеудің негізгі көзі – станциялардың гидрометеорологиялық желісіндегі тікелей бақылау мәліметтері.

Есіл сушаруашылығы алабында 1971-2021 жж. кезеңінде орташа алғанда *тұрақты қар жамылғысының орнатылуы* қарашаның бірінші онкүндігіне сәйкес келеді. Қар жамылғысының орынатылуы алаптың солтүстігінен оңтүстігіне қарай жүреді. Егер алаптың солтүстік аймағында тұрақты қар жамылғысының орын алуы қазанның соңы – қарашаның басына сәйкес келсе, алаптың оңтүстік аймақтарында, яғни Ақмола облысының оңтүстігінде, тұрақты қар жамылғысының орналуы кештеу жүреді, яғни шамамен қарашаның екінші-үшінші онкүндігіне сәйкес келеді. Тұрақты қар жамылғысының ең ерте орын алуы Явленка, Саумалкөл, Булаево (9-31 қазан) метеостанцияларында, ал кеш орнатылуы Атбасар, Жалтыр және Егіндікөл (12-17 қараша) метеостанцияларында байқалады.

Сонымен қатар, тұрақты қар жамылғысының ерте, орташа, кеш орнатылу күндерін талдау барысында алаптың орталық және солтүстік аймақтарында тұрақты қар жамылғысының ерте орнатылуы (Булаево, Тайынша, Саумалкөл,

Көкшетау, Щучинск) байқалса, ал кеш орнатылу күндері алаптың оңтүстік аймақтарына (Аршалы, Ақкөл, Жақсы) сәйкес келетіні анықталды (3.3-кесте).

*Тұрақты қар жамылғысының жойылуы* наурыздың аяғы мен сәуір айының ортасына сәйкес келеді. Тұрақты қар жамылғысының ең ерте жойылуы алаптың солтүстік аймағында, Чкалово, Тайынша, Көкшетау, Явленка метеорологиялық станцияларында байқалып, 24-29 наурыз аралығында орын алады, ал ең кеш бұзылуы – алаптың орталықтан оңтүстік бағытына қарай, Балкашино, Жақсы, Атбасар, Егіндікөл, Жалтыр метеостанцияларында (4-13 сәуір) орын алады. Орташа алғанда Есіл сушаруашылығы алабында көпжылдық мәліметтері негізінде тұрақты қар жамылғысының бұзылуы 1-10 сәуір аралығына сәйкес келеді.

Тұрақты қар жамылғысының ерте, орташа, кеш жойылу күндерін талдау барысында алаптың оңтүстік аймағында тұрақты қар жамылғысы ерте жойылатындағы, ал солтүстік-шығыс, оңтүстік-батыс аймақтарында кеш жойылуы анықталды (3.4-кесте).

Кесте 3.4 – Есіл 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      | Благовещенка            | 149                                 | 08.11                                  | 22.10 | 14.12 | 04.04                                | 19.03 | 21.04 |
| 2      | Булаево                 | 151                                 | 31.10                                  | 12.10 | 14.12 | 03.04                                | 10.03 | 12.04 |
| 3      | Возвышенка              | 154                                 | 02.11                                  | 22.10 | 18.12 | 06.04                                | 22.03 | 25.04 |
| 4      | Кішкенекөл              | 144                                 | 06.11                                  | 25.10 | 06.12 | 02.04                                | 15.03 | 20.04 |
| 5      | Петропавловск           | 148                                 | 19.11                                  | 10.10 | 31.10 | 05.04                                | 29.03 | 12.04 |
| 6      | Рузаевка                | 153                                 | 04.11                                  | 22.10 | 14.12 | 05.04                                | 20.03 | 29.04 |
| 7      | Саумалкөл               | 157                                 | 28.10                                  | 13.10 | 14.12 | 03.04                                | 17.03 | 20.04 |
| 8      | Сергеевка               | 148                                 | 05.11                                  | 21.10 | 14.12 | 01.04                                | 18.03 | 17.04 |
| 9      | Тайынша                 | 146                                 | 03.11                                  | 13.10 | 14.12 | 25.03                                | 13.03 | 10.04 |
| 10     | Тимирязево              | 149                                 | 05.11                                  | 30.10 | 14.12 | 01.04                                | 21.03 | 16.04 |
| 11     | Чкалово                 | 142                                 | 03.11                                  | 19.10 | 14.12 | 24.03                                | 12.03 | 12.04 |
| 12     | Явленка                 | 141                                 | 04.11                                  | 21.10 | 14.12 | 29.03                                | 05.03 | 18.04 |
| 13     | Ақкөл                   | 152                                 | 08.11                                  | 18.10 | 30.11 | 05.04                                | 22.03 | 16.04 |
| 14     | Аршалы                  | 149                                 | 09.11                                  | 25.10 | 26.11 | 01.04                                | 10.03 | 15.04 |
| 15     | Атбасар                 | 151                                 | 12.11                                  | 22.10 | 14.12 | 06.04                                | 22.03 | 20.04 |
| 16     | Балкашино               | 163                                 | 04.11                                  | 19.10 | 30.11 | 13.04                                | 02.04 | 28.04 |
| 17     | Егіндікөл               | 145                                 | 17.11                                  | 23.10 | 14.12 | 05.04                                | 17.03 | 22.04 |
| 18     | Ерейментау              | 147                                 | 09.11                                  | 18.10 | 08.12 | 03.04                                | 05.03 | 19.04 |
| 19     | Есіл                    | 136                                 | 16.11                                  | 29.10 | 18.12 | 27.03                                | 05.03 | 18.04 |
| 20     | Жақсы                   | 153                                 | 09.11                                  | 22.10 | 24.11 | 06.04                                | 25.03 | 20.04 |
| 21     | Жалтыр                  | 147                                 | 13.11                                  | 25.10 | 14.12 | 04.04                                | 05.03 | 19.04 |
| 22     | Көкшетау                | 144                                 | 10.11                                  | 16.10 | 14.12 | 28.03                                | 05.03 | 14.04 |
| 23     | Степногорск             | 150                                 | 10.11                                  | 14.10 | 15.12 | 30.03                                | 01.03 | 18.04 |
| 24     | Щучинск                 | 157                                 | 05.11                                  | 09.10 | 30.11 | 06.04                                | 22.03 | 18.04 |
| Орташа |                         | 149                                 | 06.11                                  | 20.10 | 10.12 | 02.04                                | 14.03 | 18.04 |

Есіл сушаруашылығы алабында орташа алғанда тұрақты қар жамылғысының ерте орнатылуы 20 қазанға, кеш орнатылуы 10 желтоқсанға және орташа – 6 қарашада орнатылатындығы анықталды. Ал тұрақты қар жамылғысының ерте жойылу күні 14 наурызға, кеш күні – 18 сәуірге және орташа күні – 2 сәуірге сәйкес келетіндігі анықталды.

Есіл сушаруашылығы алабында қар жамылғысымен болатын күндер саны көпжылдық мәліметтер негізінде 136 (Есіл МС) – 163 (Балкашино МС) күндерді құрайтыны, ал алап бойынша орташа алғанда 149 күнді құрайтыны анықталды.

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

Есіл сушаруашылығы алабында орналасқан метеорологиялық станциялардың қар жамылғысы максималды ылғал қоры мәндерінің негізгі статистикалық сипаттамалары мен әртүрлі қамтамасыздықтағы мәндері есептелді (6-кесте).

Есептеулерге сәйкес, Есіл шаруашылығы алабында орналасқан метеорологиялық станциялардағы 1971-2020 жж. кезеңі үшін қар жамылғысы максималды ылғал қоры мәні 37,5 мм (Чкалово) – 145,7 мм (Балкашино) аралығында ауытқиды. Алап үшін орташа аудандық мәні – 75,7 мм құрайды.

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 мәннәі салыстырмалы қателігі мен уақыттық қатардың вариация коэффициентінің қателігі есептелді. Қар жамылғысы максималды ылғал қорының нормаларының салыстырмалы қателіктері ( $\sigma_{SWE0}$ , %) 2,86 – 7,43 % аралығында ауытқыса, қатардың вариация (өзгергіштік) коэффициентінің қателігі 10,3 – 11,5 % тең болды. Шартқа сәйкес нормаларының салыстырмалы қателіктері 10 %-дан және вариация коэффициентінің қателігі 15 % аспағандықтан көпжылдық мәліметтер негізінде есептік кезеңнің репрезентативті екендігі анықталып, 1971-2020 жж. көпжылдық орташа мәндер «норма» ретінде қабылданды (6-кесте).

Кесте 3.5 – 1971-2020 жж. кезеңінде Есіл сушаруашылық алабындағы қар жамылғысының максималды ылғал қорының статистикалық сипаттамалары және олардың әртүрлі қамтамасыздықтағы мәндері

| № | Метеорологиялық станция | Орташа көпжылдық SWE <sub>max</sub> сипаттамалары |                       |                |                     |                | Әртүрлі қамтамасыздықтағы қар жамылғысындағы максималды ылғал қоры мәндері SWE <sub>max</sub> , мм |       |       |      |      |      |      |  |
|---|-------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|--|
|   |                         | SWE, мм                                           | σ <sub>SWE0</sub> , % | C <sub>v</sub> | σ <sub>Cv</sub> , % | C <sub>s</sub> | 5%                                                                                                 | 10%   | 25%   | 50%  | 75%  | 90%  | 95%  |  |
| 1 | Благовещенка            | 83,6                                              | 4,86                  | 0,34           | 10,7                | 0,85           | 136,2                                                                                              | 121,7 | 100,4 | 79,6 | 62,3 | 50,6 | 45,2 |  |
| 2 | Булаево                 | 83,4                                              | 4,29                  | 0,30           | 10,5                | 0,75           | 129,3                                                                                              | 117,0 | 98,5  | 80,4 | 65,4 | 53,9 | 48,4 |  |
| 3 | Возвышенка              | 76,5                                              | 4,86                  | 0,34           | 10,7                | 0,34           | 121,5                                                                                              | 110,8 | 93,4  | 75,0 | 58,3 | 44,3 | 36,6 |  |
| 4 | Кішкенекөл              | 89,3                                              | 7,71                  | 0,54           | 11,5                | 0,97           | 179,7                                                                                              | 153,9 | 116,9 | 81,6 | 54,1 | 34,5 | 25,1 |  |

## 3.5 кестенің жалғасы

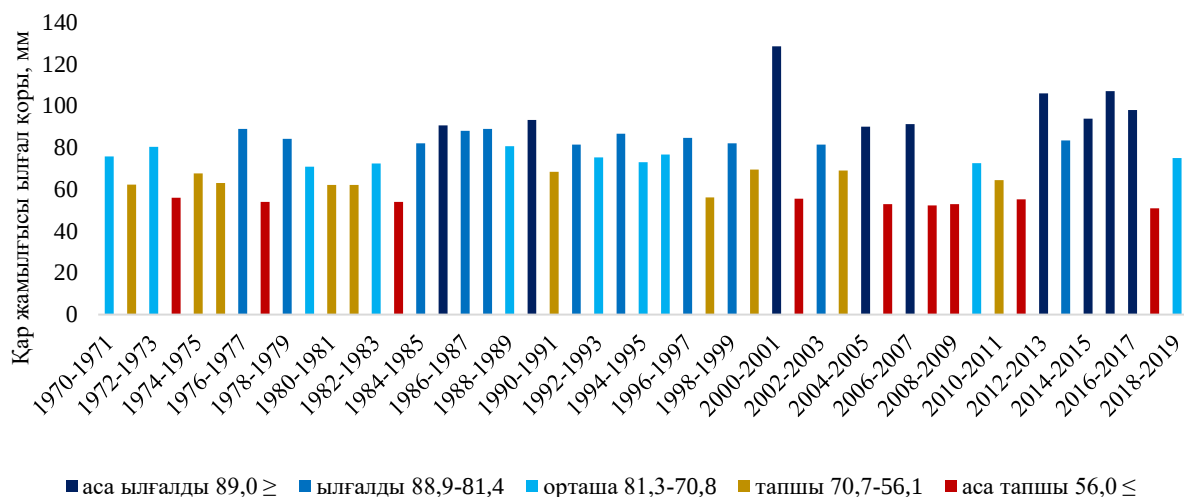
| №             | Метеорологиялық станция | Орташа көпжылдық SWE <sub>max</sub> сипаттамалары |                     |                |                   |                | Әртүрлі қамтамасыздықтағы қар жамылғысындағы максималды ылғал қоры мәндері SWE <sub>max</sub> , мм |             |             |             |             |             |             |
|---------------|-------------------------|---------------------------------------------------|---------------------|----------------|-------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               |                         | SWE, мм                                           | $\sigma_{SWE0}$ , % | C <sub>v</sub> | $\sigma_{Cv}$ , % | C <sub>s</sub> | 5%                                                                                                 | 10%         | 25%         | 50%         | 75%         | 90%         | 95%         |
| 5             | Петропавловск           | 83,9                                              | 5,29                | 0,37           | 10,8              | 0,74           | 140,7                                                                                              | 125,5       | 102,6       | 80,2        | 61,6        | 47,3        | 40,3        |
| 6             | Рузаевка                | 75,6                                              | 7,43                | 0,52           | 11,4              | 0,94           | 149                                                                                                | 128,2       | 98,2        | 69,4        | 46,9        | 30,7        | 22,8        |
| 7             | Саумалкөл               | 82,6                                              | 5,14                | 0,36           | 10,7              | 0,72           | 136,9                                                                                              | 122,3       | 100,7       | 79,1        | 61,2        | 47,5        | 40,6        |
| 8             | Сергеевка               | 77,2                                              | 5,43                | 0,38           | 10,8              | 0,76           | 131,0                                                                                              | 116,6       | 94,8        | 73,7        | 56,0        | 42,7        | 36,3        |
| 9             | Тайынша                 | 48,9                                              | 4,86                | 0,34           | 10,7              | 0,61           | 78,9                                                                                               | 71,0        | 59,2        | 47,2        | 36,9        | 29          | 24,8        |
| 10            | Тимирязево              | 63,4                                              | 5,29                | 0,37           | 10,8              | 0,74           | 106,3                                                                                              | 94,8        | 77,5        | 60,6        | 46,5        | 35,7        | 30,5        |
| 11            | Чкалово                 | 37,5                                              | 7,43                | 0,52           | 11,4              | 1,30           | 74,9                                                                                               | 63,6        | 47,7        | 33,4        | 23,1        | 16,8        | 14,1        |
| 12            | Явленка                 | 73,8                                              | 6,71                | 0,47           | 11,2              | 0,94           | 138,6                                                                                              | 120,3       | 93,8        | 68,3        | 48,5        | 34,2        | 27,3        |
| 13            | Ақкөл                   | 101,4                                             | 4,43                | 0,31           | 10,6              | 0,62           | 158,2                                                                                              | 143,3       | 120,9       | 98,2        | 78,8        | 63,8        | 56,0        |
| 14            | Аршалы                  | 60,21                                             | 6,71                | 0,47           | 11,2              | 0,94           | 113,1                                                                                              | 98,1        | 76,5        | 55,7        | 39,6        | 27,9        | 22,2        |
| 15            | Атбасар                 | 91,4                                              | 4,29                | 0,30           | 10,5              | 0,60           | 140,8                                                                                              | 127,9       | 100,0       | 88,7        | 71,7        | 58,5        | 51,7        |
| 16            | Балкашино               | 145,7                                             | 3,86                | 0,27           | 10,5              | 0,54           | 215,6                                                                                              | 197,6       | 170,3       | 142,2       | 117,4       | 98          | 87,7        |
| 17            | Егіндікөл               | 87,1                                              | 2,86                | 0,20           | 10,3              | 0,40           | 117,6                                                                                              | 110,1       | 98,0        | 85,9        | 74,7        | 65,7        | 60,6        |
| 18            | Ерейментау              | 58,9                                              | 5,43                | 0,38           | 10,8              | 0,76           | 99,9                                                                                               | 88,9        | 72,3        | 56,1        | 42,7        | 32,5        | 27,6        |
| 19            | Есіл                    | 54,7                                              | 5,43                | 0,38           | 10,8              | 0,76           | 99,8                                                                                               | 82,5        | 67,1        | 52,1        | 39,6        | 20,3        | 25,8        |
| 20            | Жақсы                   | 64,5                                              | 5,57                | 0,39           | 10,8              | 0,98           | 111,7                                                                                              | 98,2        | 78,9        | 60,5        | 46,1        | 40,0        | 31,1        |
| 21            | Жалтыр                  | 92,5                                              | 4,00                | 0,28           | 10,5              | 0,56           | 138,7                                                                                              | 126,7       | 108,7       | 90,1        | 73,9        | 61,2        | 54,5        |
| 22            | Көкшетау                | 45,0                                              | 5,86                | 0,41           | 10,9              | 0,82           | 79,1                                                                                               | 69,8        | 56,0        | 42,8        | 31,6        | 23,5        | 19,8        |
| 23            | Степногорск             | 57,9                                              | 4,14                | 0,29           | 10,5              | 0,58           | 87,9                                                                                               | 80,1        | 68,3        | 56,2        | 45,8        | 37,7        | 33,4        |
| 24            | Щучинск                 | 81,7                                              | 5,43                | 0,38           | 10,8              | 0,57           | 137,2                                                                                              | 122,8       | 101,1       | 78,8        | 59,4        | 44,3        | 36,3        |
| <b>Орташа</b> |                         | <b>75,7</b>                                       | <b>3,14</b>         | <b>0,22</b>    | <b>10,3</b>       | <b>0,55</b>    | <b>105,3</b>                                                                                       | <b>97,7</b> | <b>86,1</b> | <b>74,2</b> | <b>63,7</b> | <b>55,6</b> | <b>51,2</b> |

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

Көп қарлы және аз қарлы қысты және осы фазалардың өзгеру сәтін анықтау үшін гидрометеорологиялық зерттеулерде әртүрлі фазаларды анықтау үшін кеңінен қолданылатын айырмашылық интегралды қисықтар тұрғызылды (3.3-сурет).

Есіл сушаруашылығы алабы үшін қар жамылғысындағы ылғал қоры аса ылғалды жылдары 89,0 мм жоғары болады, ылғалды жылдары 88,9 – 81,4 мм аралығында, ылғалдылығы орташа жылдары 81,3 – 70,8 мм, ылғал қоры тапшы жылдары 70,7 – 56,1 мм, аса тапшы жылдары 56,0 мм төмен болатындығы анықталды.

Есіл сушаруашылығы алабының қар жамылғысындағы максималды ылғал қорының айырымдық интегралды қисығына сәйкес, 1970 жылдан 1984 жылға дейінгі кезең қар жамылғысы ылғал қорының төмендеу циклін көрсетсе, 1985 ж. бастап 2007 ж. дейінгі кезеңінде ұлғаю циклі байқалады, әрі қарай 2007-2012 жж. – төмендеу циклі, ал 2013-2017 жж. ылғал қорының жоғарылау циклін (3.3-сурет) көрсетеді.



Сурет 3.3 – Есіл сушаруашылығы алабы қар жамылғысы ылғал қорының ылғалдылығы бойынша классификациясы

3.6-кестеде әрбір ылғалдылық деңгейі бойынша жылдардың жіктелуі көрсетілген.

Кесте 3.6 – Есіл сушаруашылығы алабы қар жамылғысы ылғал қорының ылғалдылығы бойынша классификациясы

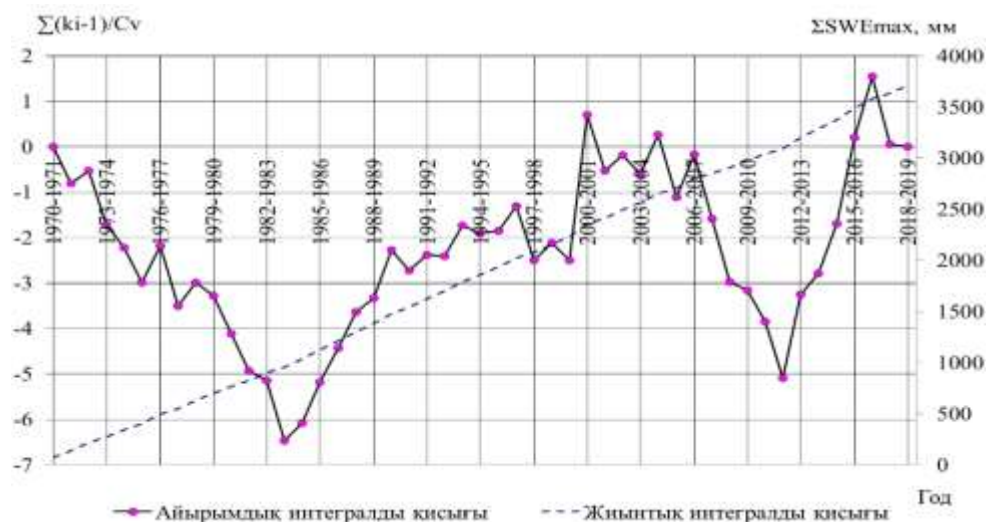
| аса тапшы<br>SWE ≤ 56,0 | тапшы<br>70,7-56,1 | орташа<br>81,3-70,8 | ылғалды<br>88,9-81,4 | аса ылғалды<br>SWE ≥ 89,0 |
|-------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------------|
| 1974                    | 1972               | 1971                | 1979                 | 1977                      |
| 1978                    | 1975               | 1973                | 1985                 | 1986                      |
| 1984                    | 1976               | 1980                | 1987                 | 1990                      |
| 2002                    | 1981               | 1983                | 1988                 | 2001                      |
| 2006                    | 1982               | 1989                | 1992                 | 2005                      |
| 2008                    | 1991               | 1993                | 1994                 | 2007                      |
| 2009                    | 1998               | 1995                | 1997                 | 2013                      |
| 2012                    | 2000               | 1996                | 1999                 | 2015                      |
| 2018                    | 2004               | 2010                | 2003                 | 2016                      |
|                         | 2011               | 2019                | 2014                 | 2017                      |

3.4-суреттегі жиынтық интегралды қисығы 1984 жылдан бастап қар жамылғысы ылғал қорының ұлғайғандығын көрсетеді, алайда бұл ұлғаю статистикалық маңыздылыққа ие емес.

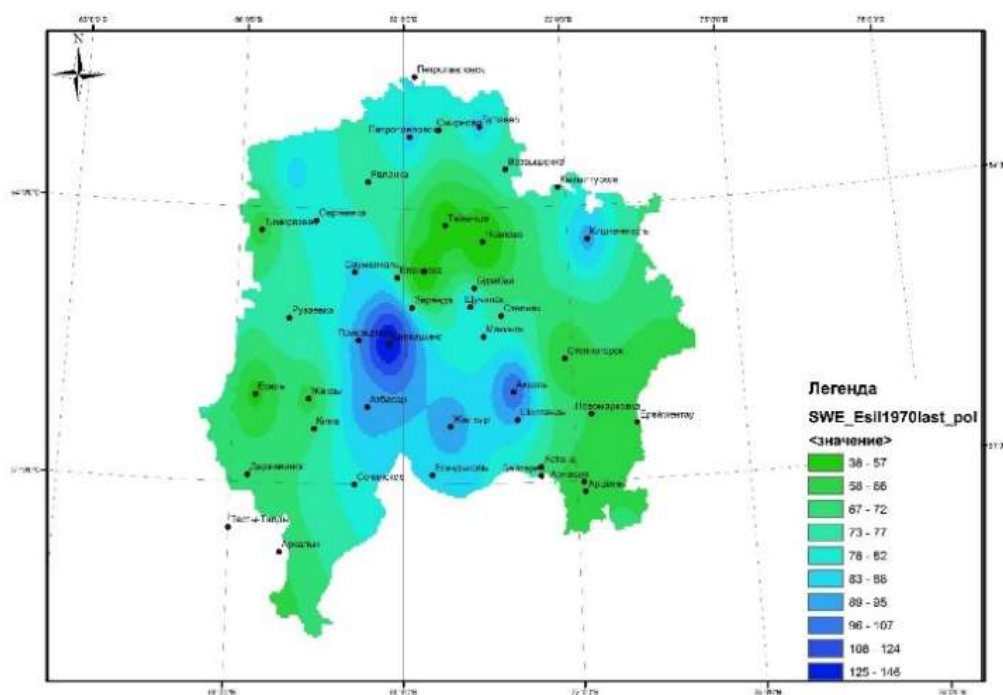
Қар жамылғысының максималды ылғал қорының ( $\overline{SWE}_{max}$ ) кеңістіктік таралуын анықтау мақсатында ArcGIS 10.2 геоақпараттық жүйесі көмегімен карта тұрғызылды.

1971-2020 жж. көпжылдық кезеңіндегі қар жамылғысындағы максималды ылғал қорының ( $\overline{SWE}_{max}$ ) кеңістіктік таралуын талдау нәтижесі Есіл сушаруашылық алабында оның мәні 38 (Чкалово) – 146 (Балкашино) мм аралығында өзгередінін көрсетті, оның еруі басталғанға дейін алап бойынша орташа көпжылдық мәні 76 мм құрайды. Көкшетау төбесінің батыс

беткейлерінде, Жабай және Қалқұтан өзендері алаптары аймағында  $\overline{SWE}_{max}$  мәні 145 мм дейін жетеді. Солтүстік Қазақстан облысының жазық аймақтары (Чкалово, Тайынша) мен Ақмола облысының қиыр шығысындағы жазық аймағында (Степногорск, Ерейментау)  $\overline{SWE}_{max}$  шамасының ең төменгі мәндері байқалады, сәйкесінше бұл шама 44,0 және 58,5 мм дейін жетеді (3.5-сурет).



Сурет 3.4 – Есіл сушаруашылығы алабының қар жамылғысы ылғал қорының 1971-2020 жж. кезеңіндегі айырымдық және жиынтық интегралды қисықтары



Сурет 3.5 – 1971-2020 жылдар аралығында Есіл сушаруашылық алабында қар жамылғысындағы орташа көпжылдық максималды су қорының кеңістіктік таралуы

Қар жамылғысы ылғал қорының мұндай таралуы 1960 ж. дейінгі зерттеу нәтижелерінде [148] де көрініс тапқан. Аталған жұмыста зерттеліп отырған жазықта орналасқан Есіл сушаруашылық алабының неғұрлым биігірек және Көкшетау облысының орманды бөлігінде, оның шығыс, жазық және далалы бөліктеріне қарағанда, едәуір қар қоры байқалатындығы көрсетілген. Көктемгі қар еріген кезде қардағы ылғал қоры көбінесе батыста 75-100 мм және облыстың шығыс бөлігінде 55-60 мм жететіндігі анықталса, аз қарлы қыста олар батыста 40-60 мм дейін, шығыста 20-25 мм дейін азаятыны көрсетілген. Көп қарлы қыста облыстың барлық аумағында қардағы су қоры 100 мм және одан да көп болады, ал Көкшетау биіктігінің батыс беткейлерінде кей жерлерде 150-180 мм-ге дейін жетуі мүмкін (қар қоры 1% қамтамасыз етілген жылдары) екендігі көрсетілген.

$\overline{SWE}_{max}$  өзгеруін бағалау үшін кеңістіктік таралуын анықтаумен қатар, оның уақыттық өзгерістерін зерттеу маңызды. Осы мақсатта 1971-2020 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, 3.7-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.

Кесте 3.7 – Есіл сушаруашылық алабындағы метеорологиялық станциялардың 1971-2020 жж. кезеңіндегі қар жамылғысы ылғал қорының өзгеруінің статистикалық көрсеткіштері

| №  | Метеорологиялық станция | Статистикалық көрсеткіш |              |      |                               |
|----|-------------------------|-------------------------|--------------|------|-------------------------------|
|    |                         | а2, мм/10 жыл           | R2, %        | R2   | Фишердің F үлестіру критерийі |
| 1  | Благовещенка            | 4,24                    | 4,43         | 0,04 | 2,27                          |
| 2  | Булаево                 | 1,37                    | 0,61         | 0,01 | 0,30                          |
| 3  | Возвышенка              | <b>-6,54</b>            | <b>12,67</b> | 0,13 | <b>7,11</b>                   |
| 4  | Кішкенекөл              | 3,77                    | 1,21         | 0,01 | 0,60                          |
| 5  | Петропавловск           | 0,35                    | 0,03         | 0,00 | 0,01                          |
| 6  | Рузаевка                | <b>17,80</b>            | <b>41,03</b> | 0,41 | <b>34,09</b>                  |
| 7  | Саумалкөл               | <b>7,88</b>             | <b>14,39</b> | 0,14 | <b>8,23</b>                   |
| 8  | Сергеевка               | -2,29                   | 1,19         | 0,01 | 0,59                          |
| 9  | Тайынша                 | 2,74                    | 5,29         | 0,05 | 2,74                          |
| 10 | Тимирязево              | -0,24                   | 0,02         | 0,00 | 0,01                          |
| 11 | Чкалово                 | -1,69                   | 1,52         | 0,02 | 0,76                          |
| 12 | Явленка                 | -3,17                   | 1,67         | 0,02 | 0,83                          |
| 13 | Ақкөл                   | 1,18                    | 0,28         | 0,00 | 0,14                          |
| 14 | Аршалы                  | 2,30                    | 1,32         | 0,01 | 0,66                          |
| 15 | Атбасар                 | -0,29                   | 0,02         | 0,00 | 0,01                          |
| 16 | Балкашино               | -4,77                   | 2,97         | 0,03 | 1,50                          |
| 17 | Егіндікөл               | 2,08                    | 2,94         | 0,03 | 1,49                          |
| 18 | Ерейментау              | -0,85                   | 0,29         | 0,00 | 0,14                          |

## 3.7 кестенің жалғасы

| №  | Метеорологиялық станция | Статистикалық көрсеткіш |              |      |                               |
|----|-------------------------|-------------------------|--------------|------|-------------------------------|
|    |                         | a2, мм/10 жыл           | R2, %        | R2   | Фишердің F үлестіру критерийі |
| 19 | Есіл                    | 3,62                    | 6,07         | 0,06 | 3,17                          |
| 20 | Жақсы                   | <b>9,48</b>             | <b>29,12</b> | 0,29 | <b>20,13</b>                  |
| 21 | Жалтыр                  | 0,24                    | 0,02         | 0,00 | 0,01                          |
| 22 | Көкшетау                | 2,63                    | 4,09         | 0,04 | 2,09                          |
| 23 | Степногорск             | -0,34                   | 0,08         | 0,00 | 0,04                          |
| 24 | Щучинск                 | 5,49                    | 6,35         | 0,06 | 3,33                          |

Статистикалық көрсеткіштердің нәтижелері бойынша Есіл сушаруашылығы алабында қар жамылғысының максималды ылғал қорының өзгеру жылдамдығы: өсу жылдамдығы 0,45 – 17,80 мм/10 жыл құраса, азаю жылдамдығы 0,13 – 6,54 мм/10 жыл тең. Қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру жылдамдығында қандай да бір заңдылықтың орын алуы анықталмады.  $\overline{SWE}_{max}$  өсуінің статистикалық маңызды трендтері Рузаевка, Саумалкөл, Жақсы метеорологиялық станцияларында байқалса,  $\overline{SWE}_{max}$  төмендеуінің статистикалық маңызды трендтері Возвышенка станциясында байқалған. Жоғарыда келтірілген өзгерістер Фишердің үлестіру критерийі бойынша F есептеулерімен де расталады ( $F_{қосымша} > 6.0$ ).

Сонымен қатар, 1971-2020 жж. кезеңінде қар жамылғысы максималды ылғал қорының өзгеру тренді Манн-Кендаллдың тесті арқылы анықталды (3.8-кесте).

Кесте 3.8 – Ман-Кендалл параметрлік емес тестінің нәтижелері

| №  | Метеорологиялық станция | MK-stat | s.e.  | z-stat        | p-value      | trend |
|----|-------------------------|---------|-------|---------------|--------------|-------|
| 1  | Акколь                  | 27      | 116,0 | 0,224         | 0,823        | no    |
| 2  | Аршалы                  | 145     | 116,0 | 1,242         | 0,214        | no    |
| 3  | Атбасар                 | -33     | 116,0 | -0,276        | 0,783        | no    |
| 4  | Балкашино               | -107    | 116,0 | -0,914        | 0,361        | no    |
| 5  | Благовещенка            | 141     | 116,0 | 1,207         | 0,227        | no    |
| 6  | Булаево                 | 20      | 116,0 | 0,164         | 0,870        | no    |
| 7  | Возвышенка              | -306    | 116,0 | <b>-2,630</b> | <b>0,009</b> | yes   |
| 8  | Егиндиколь              | 104     | 115,9 | 0,889         | 0,374        | no    |
| 9  | Ерейментау              | -107    | 115,9 | -0,914        | 0,360        | no    |
| 10 | Есиль                   | 199     | 116,0 | 1,707         | 0,088        | no    |
| 11 | Жаксы                   | 506     | 116,0 | <b>4,354</b>  | <b>0,000</b> | yes   |
| 12 | Жалтыр                  | -38     | 115,9 | -0,319        | 0,750        | no    |
| 13 | Кишкенеколь             | -10     | 116,0 | -0,078        | 0,938        | no    |
| 14 | Кокшетау                | 202     | 115,9 | 1,734         | 0,083        | no    |
| 15 | Петропавловск           | -5      | 116,0 | -0,034        | 0,972        | no    |
| 16 | Рузаевка                | 597     | 116,0 | <b>5,139</b>  | <b>0,000</b> | yes   |
| 17 | Саумалколь              | 313     | 116,0 | <b>2,690</b>  | <b>0,007</b> | yes   |
| 18 | Сергеевка               | -108    | 116,0 | -0,923        | 0,356        | no    |
| 19 | Степногорск             | -2      | 115,9 | -0,009        | 0,993        | no    |
| 20 | Тайынша                 | 202     | 115,9 | 1,735         | 0,083        | no    |
| 21 | Тимирязево              | -83     | 115,9 | -0,707        | 0,479        | no    |
| 22 | Чкалово                 | -60     | 115,9 | -0,509        | 0,611        | no    |
| 23 | Щучинск                 | 236     | 116,0 | <b>2,026</b>  | <b>0,043</b> | yes   |
| 24 | Явленка                 | -30     | 116,0 | -0,250        | 0,803        | no    |

Есептеулер нәтижесінде  $Z$ -stat оң нәтижелер өсу тенденциясын көрсетсе, теріс мәндері төмендеу тенденциясын көрсетеді. Трендердің тесті  $\alpha = 0,01$ ,  $\alpha = 0,05$  маңыздылық деңгейлері үшін жүргізіледі. 5 % маңыздылық деңгейінде, егер  $|Z\text{-stat}| > 1,96$  болса, нөлдік тренд жоқ гипотеза қабылданбайды, ал егер  $|Z\text{-stat}| > 2,576$  1% маңыздылық деңгейінде болса, қабылданбайды. Жұмыста трендтің маңыздылығы  $\alpha = 0,05$  маңыздылық деңгейі үшін анықталды.

Ман-Кендалл параметрлік емес тестінің нәтижелеріне сәйкес, Жақсы, Рузаевка, Саумалкөл, Щучинск метеостанциялары қар жамылғысы ылғал қорының өсу тенденциясы байқалып, оның өсуі маңызды болып табылатыны анықталды. Ал Возвышенка станциясында азаю тенденциясының маңыздылығы анықталды.

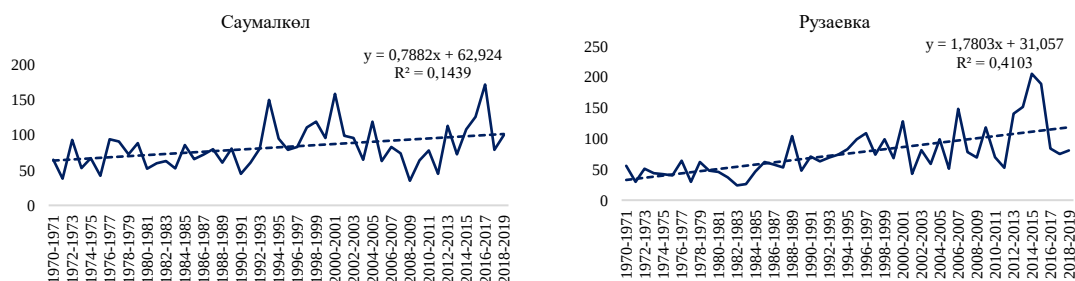
1971-2020 жж. кезеңінде Есіл сушаруашылық алабының аумағы бойынша орта есеппен (3.6 а, б-сурет)  $\overline{SWE}_{max}$  елеулі өзгерістерге ие емес.

Қар жамылғысы максималды ылғал қорының климаттың өзгеруі жағдайында өзгеруін анықтау мақсатында көпжылдық уақыттық қатары теңдеу екі кезеңге: 1971-1994 жж. және 1995-2020 жж. бөлініп қарастырылды (3.7-сурет).

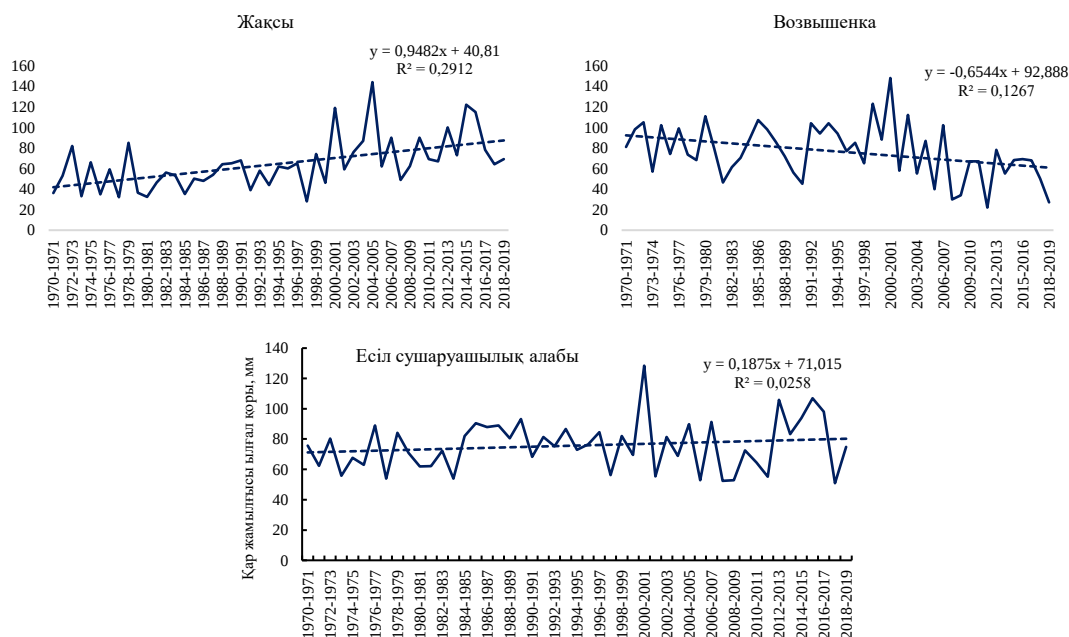
$\overline{SWE}_{max}$  өзгеруін 1971-1994 жж. (негізгі) және 1995-2020 жж. (заманауи) екі кезеңдегі орташа көпжылдық мәндерді салыстыру арқылы бағалау нәтижесінде алаптың жазық аймақтарында ( $H < 200$  м) 1995-2020 жж. алдыңғы 1971-1994 жж. кезеңге қарағанда қар жамылғысы ылғал қоры 0,7 мм (Степногорск ст.) – 16,4 мм (Сергеевка ст.) дейін азайғандығы байқалады. Сонымен қатар, Жабай өзені алабында орналасқан Балкашино, Атбасар метеостанцияларында ылғал қорының орташа алғанда 15 мм-ге азаю тенденциясы байқалады. Заманауи кезеңде ылғал қорының Саумалкөл, Рузаевка, Жақсы станцияларында 21,9 – 46,2 мм ұлғаю тенденциясы анықталды.

Есіл сушаруашылығы алабының қар жамылғысы максималды ылғал қорының кеңістіктік-уақыттық өзгеруін бағалау нәтижесінде келесі қорытындыны жасауға болады:

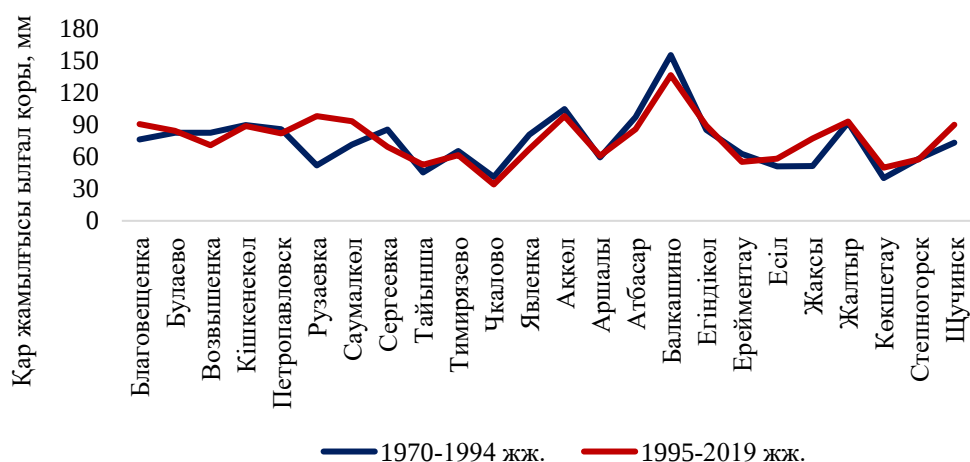
- Тұрақты қар жамылғысы алап бойынша 20 қазан – 10 желтоқсан аралығында, орташа алғанда 6 қараша орнатылады.



Сурет 3.6 (а) – Есіл сушаруашылығы алабының орташа аудандық қар жамылғысы ылғал қорының 1971-2020 жж. кезеңінде таралуы



Сурет 3.6 (б) – Есіл сушаруашылығы алабының орташа аудандық қар жамылғысы ылғал қорының 1971-2020 жж. кезеңінде таралуы



Сурет 3.7 – Есіл сушаруашылығы алабында 1971-1994 жж. және 1995-2020 жж. қар жамылғысы максималды ылғал қорының өзгеруі

- Ал тұрақты қар жамылғысының жойылуы 14 наурыз – 18 сәуір аралығында, орта есеппен 2 сәуірде орын алады;

- Қар жамылғысымен болатын күндер саны 136 – 163 күн аралығында ауытқиды, ал орта есеппен 149 күнді құрайды. Алаптың солтүстік жазық аудандарында қармен болған күндер саны 150 күннен аспайтындығы, сонымен қатар алаптың орталығында (биіктігі 400 м) қарлы күндер саны жоғары болатындығы анықталды;

- Қар жамылғысы ылғал қоры максималды мәніне ақпанның екінші онкүндігі мен наурыздың бірінші онкүндігі аралығында байқалып, орта есеппен

50 мм құрайды. Максималды ылғал қоры орнатылғанға дейін ол 1-6 мм/онкүндікке өссе, алап үшін орташа есеппен 4 мм/онкүндік жылдамдығымен өседі. Ал еру жылдамдығы 10 мм/онкүндігіне еритіндігі байқалады;

1971-2020 жж. кезеңіндегі көпжылдық ылғал қоры мәліметтері негізінде алапта орналасқан әрбір метеорологиялық станция үшін олардың нормалары есептелді. Нәтижесінде қар жамылғысы максималды ылғал қоры мәні 37,5 мм (Чкалово) – 145,7 мм (Балкашино) аралығында ауытқыса, алап үшін орташа аудандық мәні – 75,7 мм құрайтыны анықталды. Есептелген нормалардың репрезентативтілігі қатардың орташа көпжылдық шамасының салыстырмалы орташа квадраттық қателігі мен вариация коэффициентінің салыстырмалы орташа квадраттық қателігі көмегімен анықталды.

- Есіл сушаруашылығы алабының қар жамылғысындағы максималды ылғал қорының айырымдық интегралды қисығына сәйкес, 1970 жылдан 1984 жылға дейінгі кезең қар жамылғысы ылғал қорының төмендеу циклін көрсетсе, 1985 ж. бастап 2007 ж. дейінгі кезеңінде ұлғаю циклі байқалады, әрі қарай 2007-2012 жж. – төмендеу циклі, ал 2013-2017 жж. ылғал қорының жоғарылау циклін көрсетеді;

- қар жамылғысының максималды ылғал қорының өзгеру жылдамдығы келесідей болды: өсу жылдамдығы 0,45 – 17,80 мм/10 жыл құраса, азаю жылдамдығы 0,13 – 6,54 мм/10 жыл тең. Қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру жылдамдығында қандай да бір заңдылықтың орын алуы анықталмады.  $\overline{SWE}_{max}$  өсуінің статистикалық маңызды трендтері Рузаевка, Саумалкөл, Жақсы метеорологиялық станцияларында байқалса,  $\overline{SWE}_{max}$  төмендеуінің статистикалық маңызды трендтері Возвышенка станциясында байқалған. Бұл өзгерістер Фишердің үлестіру критерийі бойынша F есептеулерімен де расталады;

- Ман-Кендалл параметрлік емес тестінің нәтижелеріне сәйкес, Жақсы, Рузаевка, Саумалкөл, Щучинск метеостанциялары қар жамылғысы ылғал қорының өсу тенденциясы байқалып, оның өсуі маңызды болып табылатыны анықталды. Ал Возвышенка станциясында азаю тенденциясының маңыздылығы анықталды.

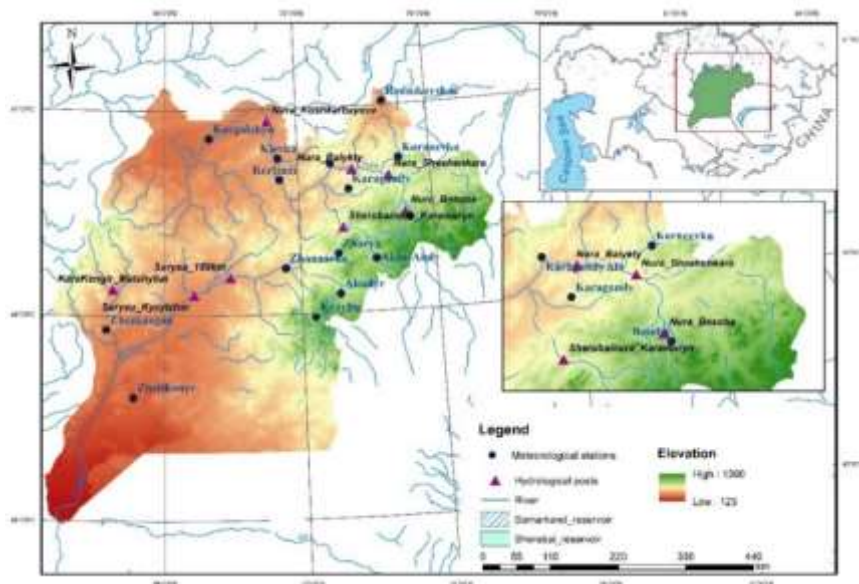
Зерттеу барысында алынған нәтижелер [149] жұмысында жарық көрген.

### **3.2 Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру динамикасы**

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру динамикасын зерттеу мақсатында алапта орналасқан 14 метеорологиялық станцияның мәліметтер қоры жинақталды (3.8-сурет).

Бақылау мәліметтері жоқ жылдардың мәндері аналогия әдісі бойынша қалпына келтірілді. Қалпына келтіру барысында регрессия теңдеуін құру кезінде негізгі 4 шарттың орындалуы қамтамасыз етілді. Яғни, аналог-станция мен қалпына келтірілетін станция мәліметтері арасындағы байланысты көрсететін – корреляция коэффициенті сәйкесінше  $R \geq 0,7$ , регрессия теңдеуі құрылған жылдар саны да  $n' \geq 6 - 10$  көп болды, сонымен бірге

коэффициенттердің олардың орташа квадраттық қателіктеріне қатынасы  $A_{кр}$  және  $B_{кр} \geq 2,0$  шамасынан төмен болды (3.9-кесте). Сонымен қатар, екі метеорологиялық станция арасындағы физико-географиялық ерекшеліктердің ұқсас болу шарты да сақталды.



Сурет 3.8 – Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабындағы метеорологиялық станциялардың орналасу картасы

Қар жамылғысындағы максималды ылғал қоры мәліметтері, толығымен қалпына келтірілген үзілістерді қоса алғанда, В қосымшасының 3-кестесінде берілген (3-кесте В қосымшасы).

Қалпына келтірілген мәліметтер әрі қарай статистикалық өңдеу – біртектілікке тексеруден өтіп, келесі нәтижелерді (3.10-кесте) көрсетті:

- Фишердің F-критерий бойынша уақыттық қатардың сыни мәні  $F_a = 2,27$  салыстыру арқылы Жетіқоңыр станциясында;

- Стьюденттің t-критерийі тесті бойынша  $t^*$  статистикасының сыни мәні  $t_a = 2,012$  салыстыру арқылы алынған нәтижеге сәйкес, Ақсу-Аюлы, Қарағанды СХОС станцияларында;

- Вилькокسونның U критерийі ( $U_1=202$ ,  $U_2=398$ ) негізінде Ақсу-Аюлы, Қарағанды СХОС станцияларында станцияларында қатарлардың біртектілігі бұзылғандығы анықталды.

Кесте 3.9 – Нұра-Сарысу сушаруашылық алабындағы жекелеген станциялар бойынша қардағы ылғал қорларын қалпына келтіру туралы мәліметтер

| № | Метеорологиялық станция | Аналог-станция | Регрессия теңдеуі      | Теңдеу алынған кезең | Жыл саны | R    | Қалпына келтірілген жыл |
|---|-------------------------|----------------|------------------------|----------------------|----------|------|-------------------------|
| 1 | Ақсу-Аюлы               | Ақадыр         | $y = 0,5433x + 19,622$ | 1971-1978            | 8        | 0,88 | 1979                    |

### 3.9 кестенің жалғасы

| № | Метеорологиялық станция | Аналог-станция | Регрессия теңдеуі      | Теңдеу алынған кезең | Жыл саны | R    | Қалпына келтірілген жыл      |
|---|-------------------------|----------------|------------------------|----------------------|----------|------|------------------------------|
| 2 | Бесоба                  | Родниковское   | $y = 0,7683x + 1,599$  | 1979-1985            | 7        | 0,84 | 1999                         |
| 3 | Жетіқоңыр               | Жаңаарқа       | $y = 0,5894x + 18,884$ | 1972-1984            | 13       | 0,71 | 1971, 1985, 1995, 2015, 2016 |
| 4 | Қызылту                 | Жаңаарқа       | $y = 1,2052x + 36,822$ | 1983-1993            | 11       | 0,77 | 1982                         |
| 5 | Корнеевка               | Бесоба         | $y = 1,2671x - 1,9933$ | 1971-1981            | 11       | 0,81 | 1982                         |
| 6 | Родниковское            | Корнеевка      | $y = 0,2338x + 27,697$ | 1979-1985            | 7        | 0,85 | 1978                         |

Маңыздысы, егер 3 сынақтың біреуі орындалмаса, уақыттық қатар біртекті болып саналады, ал егер 3 сынақтың екеуі немесе барлығы орындалмаса, уақыттық қатар біртектілігі бұзылған деп қабылдануы тиіс. Осылайша, Ақсу-Аюлы және Қарағанды СХОС станцияларында уақыттық қатардың біртектілігі бұзылған, ал қалған метеорологиялық станциялардың уақыттық қатарлары статистикалық біртектілікті көрсетті.

### Кесте 3.10 – Бақылау қатарларын біртектілікке тексеру нәтижесі

| №  | МС             | Фишер критерийі |       | Стьюдент критерийі |       | Уилкоксон критерийі |       |
|----|----------------|-----------------|-------|--------------------|-------|---------------------|-------|
|    |                | F/Fa            | шешім | t/ta               | шешім | U                   | шешім |
| 1  | Коргалжын      | 1,117           |       | 0,012              |       | 287                 |       |
| 2  | Акадыр         | 1,325           |       | 0,022              |       | 288                 |       |
| 3  | Ақсу-Аюлы      | 1,01            |       | 3,051              | жоқ   | 434                 | жоқ   |
| 4  | Бесоба         | 1,091           |       | 0,047              |       | 302                 |       |
| 5  | Жаңаарқа       | 1,7             |       | 1,091              |       | 347                 |       |
| 6  | Жарык          | 1,244           |       | 0,562              |       | 347                 |       |
| 7  | Жезказған      | 1,934           |       | 0,679              |       | 337                 |       |
| 8  | Жетықонур      | 3,892           | жоқ   | 1,711              |       | 366                 |       |
| 9  | Қарағанда      | 1,577           |       | 0,484              |       | 318                 |       |
| 10 | Қарағанда СХОС | 1,269           |       | 3,388              | жоқ   | 467                 | жоқ   |
| 11 | Кертинды       | 1,099           |       | 1,143              |       | 361                 |       |
| 12 | Қызылту        | 1,31            |       | 0,441              |       | 329                 |       |
| 13 | Корнеевка      | 1,171           |       | 0,611              |       | 272                 |       |
| 14 | Родниковское   | 1,358           |       | 0,514              |       | 324                 |       |

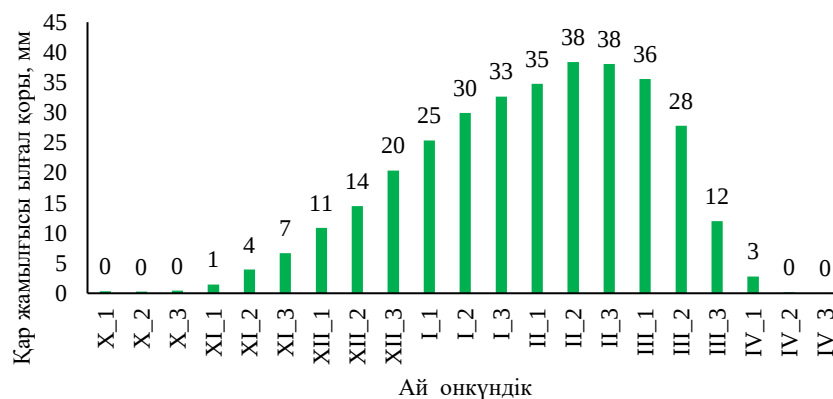
\*бос ұяшықтар біртектіліктің бұзылмағандығын білдіреді.

#### 3.2.1 Тұрақты қар жамылғысының орнатылуы және жойылуы

Нұра-Сарысу алабында орналасқан 12 метеорологиялық станцияның 1971-2020 жж. онкүндік орташаланған көпжылдық қар жамылғысы ылғал қорының бақылау мәліметтерін негізінде (3.11-кесте), қар жамылғысының жүрісін талдау барысында тұрақты қар жамылғысы қазақ айының үшінші онкүндігі (X\_3) мен қарашаның бірінші онкүндігі (XI\_1) аралығында орнатылып, максималды мәніне ақпан айының екінші және үшінші онкүндігі (II\_2, III\_3) аралығында жетеді. Ал ҚазССР Гидрометеорологиялық қызметінің басқармасының (ГМҚБ) мәліметтеріне [150] 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 өседі (3.9-сурет).



Сурет 3.9 – Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында 1971-2020 жылдар кезеңінде қар жамылғысындағы ылғал қорының онкүндіктер бойынша таралуы

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 Есіл сушаруашылық алабында 3-16 мм/онкүндікке ерісе, орташа алғанда 8 мм/онкүндікке еритіні байқалады.

Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында қар жамылғысымен болатын орташа күндер саны 128 күнді құрайды. 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.

*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 тұсрақты 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 байқалады, 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.

Кесте 3.11 – 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      | Корғалжын               | 142                                 | 15.11                                  | 25.10 | 14.12 | 06.04                                | 07.03 | 07.05 |
| 2      | Акадыр                  | 117                                 | 13.11                                  | 01.11 | 12.01 | 21.03                                | 28.02 | 08.04 |
| 3      | Аксу-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      | Жанаарка                | 128                                 | 21.11                                  | 30.10 | 23.12 | 29.03                                | 08.03 | 13.04 |
| 6      | Жарык                   | 137                                 | 15.11                                  | 18.10 | 23.12 | 01.04                                | 15.03 | 16.04 |
| 7      | Жезказған               | 106                                 | 12.11                                  | 07.11 | 01.02 | 19.03                                | 01.03 | 06.04 |
| 8      | Жетықонур               | 92                                  | 14.12                                  | 14.11 | 19.02 | 09.03                                | 11.01 | 05.04 |
| 9      | Караганда               | 136                                 | 12.11                                  | 16.10 | 04.12 | 29.03                                | 07.03 | 12.04 |
| 10     | Караганда СХОС          | 141                                 | 14.11                                  | 18.10 | 13.12 | 03.04                                | 21.03 | 15.04 |
| 11     | Кертінды                | 132                                 | 18.11                                  | 02.11 | 12.01 | 31.03                                | 14.01 | 17.04 |
| 12     | Кызылту                 | 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 |

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 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 сушаруашылық алабындағы қар жамылғысы.* Қар жамылғысы алаптағы өзендердің шамамен барлық ағынын құрайды. Алғашқы қар қазан айының басында жауады. Алатың көп бөлігіндегі тұрақты қар жамылғысы қарашаның екінші немесе үшінші онкүндігінде, тек оңтүстік бөлігінде – желтоқсанның басында орнатылады. Қар қорының таралуы жер бедеріне, өсімдік жамылғысына және жел режиміне бағынышты. Тұрақты қар жамылғысы Қазақтың ұсақ шоқыларында 130-150 күннен оңтүстікте 100-120 күнге дейін сақталады. Қардағы судың максималды қоры 5-120 мм.

Алатың оңтүстігіне қарай, Сарысудың ең төменгі ағысында, қардағы ылғал қоры 50 мм-ге жетпейді. 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.

Қар жамылғысының еруі әдетте сәуір айының ортасында болады. Бұл аймақ жыл сайын топырақтың қатуымен сипатталады. Мұздатудың ең үлкен тереңдігі 170-тен 230 см-ге дейін, мұздату кезеңінің максималды ұзақтығы 6-7 айға дейін байқалуы мүмкін.

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында орналасқан метеорологиялық станциялардың қар жамылғысы максималды ылғал қоры мәндерінің негізгі статистикалық сипаттамалары мен әртүрлі қамтамасыздықтағы мәндері есептелді (3.12-кесте).

Кесте 3.12 – 1971-2020 жж. кезеңінде Нұра-Сарысу сушаруашылық алабындағы қар жамылғысының максималды ылғал қорының статистикалық сипаттамалары және олардың әртүрлі қамтамасыздықтағы мәндері

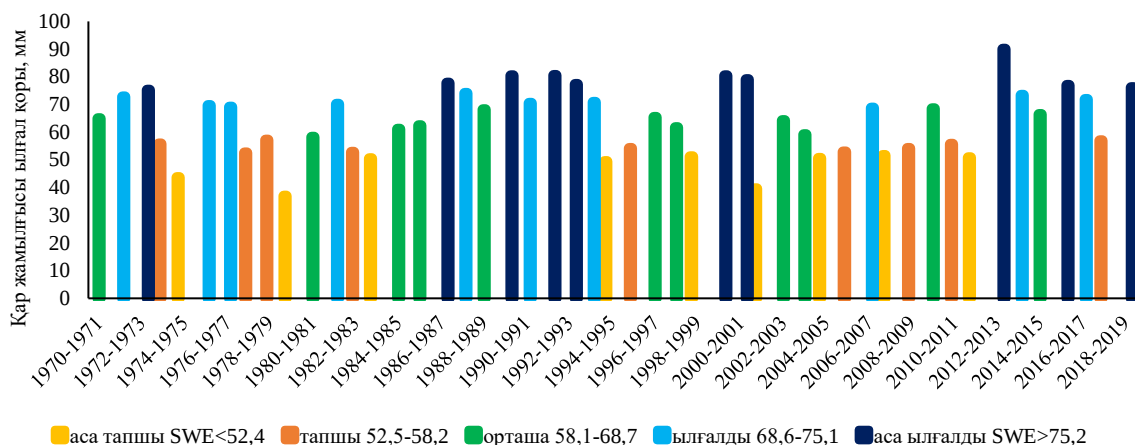
| №      | Метеорологиялық станция | Орташа көпжылдық SWE <sub>max</sub> сипаттамалары |                     |                |                   |                | Әртүрлі қамтамасыздықтағы қар жамылғысындағы максималды ылғал қоры мәндері SWE <sub>max</sub> , мм |       |       |       |      |      |      |
|--------|-------------------------|---------------------------------------------------|---------------------|----------------|-------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|
|        |                         | SWE, мм                                           | $\sigma_{SWE0}$ , % | C <sub>v</sub> | $\sigma_{Cv}$ , % | C <sub>s</sub> | 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      | Қараганды               | 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     | Қараганды АІШ           | 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 |

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 мәннәі салыстырмалы қателігі мен уақыттық қатардың вариация коэффициентінің қателігі есептелді. Қар жамылғысы максималды ылғал қорының нормаларының салыстырмалы қателіктері ( $\sigma_{SWE0}$ , %) 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 % аспағандықтан көпжылдық мәліметтер негізінде есептік кезеңнің репрезентативті екендігі анықталып, 1971-2020 жж. көпжылдық орташа мәндер «норма» ретінде қабылданды.

Жылдың ылғал қорына қатысты қар жамылғысының ылғал қорына тапшы, норма және аса ылғалды болуын анықтау үшін әрбір жекелеген

станцияға қамтамасыз ету қисығы тұрғызылды (сурет В-қосымшасы). Қамтамасыздық шамасына қарай жылдың ылғалдылығы 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 болады, 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 (3.10-сурет).



Сурет 3.10 – Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы қар жамылғысы ылғал қорының ылғалдылығы бойынша классификациясы

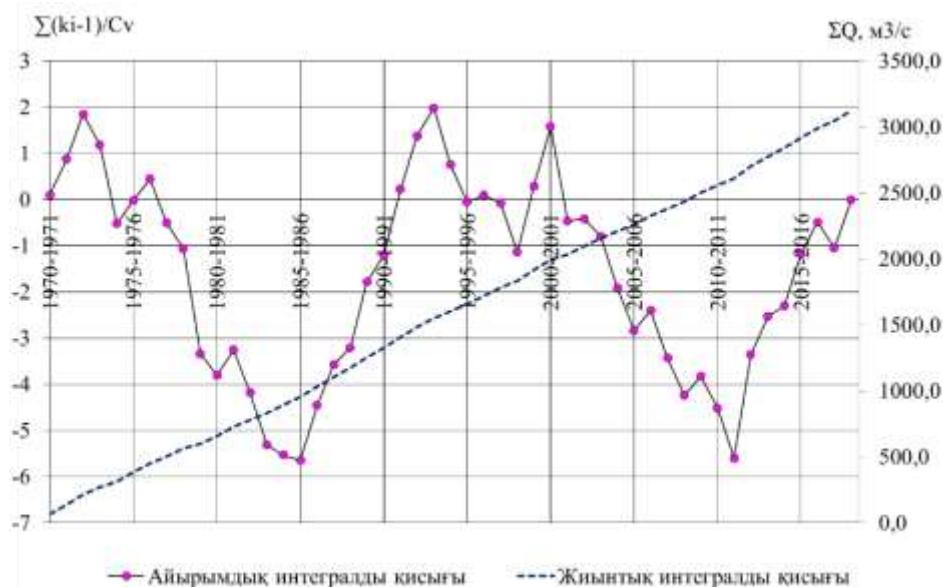
Қамтамасыздықтың шамасына қарай қар жамылғысы ылғал қорының мәліметтері әрбір жыл үшін ылғалдылық, тапшылық классификациясына қарай жіктелді (3.13-кесте). Соңғы онжылдық мәліметтеріне сәйкес, Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында, 2018 ж. есепке алмағанда (тапшы), қар жамылғысы ылғал қоры орташа-аса ылғалды жылдар болғандығы байқалады.

Кесте 3.13 – Ылғалдылық классификациясы бойынша жылдардың жіктелуі

| Аса тапшы<br>SWE < 52,4 | Тапшы<br>52,5-58,2 | Орташа<br>58,1-68,7 | Ылғалды<br>68,6-75,1 | аса ылғалды<br>SWE > 75,2 |
|-------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------------|
| 1975                    | 1974               | 1971                | 1972                 | 1973                      |
| 1980                    | 1978               | 1985                | 1976                 | 1987                      |
| 1984                    | 1979               | 1986                | 1977                 | 1990                      |
| 1995                    | 1981               | 1989                | 1982                 | 1992                      |
| 2002                    | 1983               | 1997                | 1988                 | 1993                      |
| 2005                    | 1996               | 1998                | 1991                 | 2000                      |
| 2008                    | 2006               | 2003                | 1994                 | 2001                      |
|                         | 2009               | 2004                | 2007                 | 2013                      |
|                         | 2011               | 2010                | 2014                 | 2016                      |
|                         | 2018               | 2015                | 2017                 | 2019                      |

Көп қарлы және аз қарлы қысты және осы фазалардың өзгеру сәтін анықтау үшін гидрометеорологиялық зерттеулерде әртүрлі фазаларды анықтау

үшін кеңінен қолданылатын айырмашылық интегралды қисықтар тұрғызылды (23-сурет).



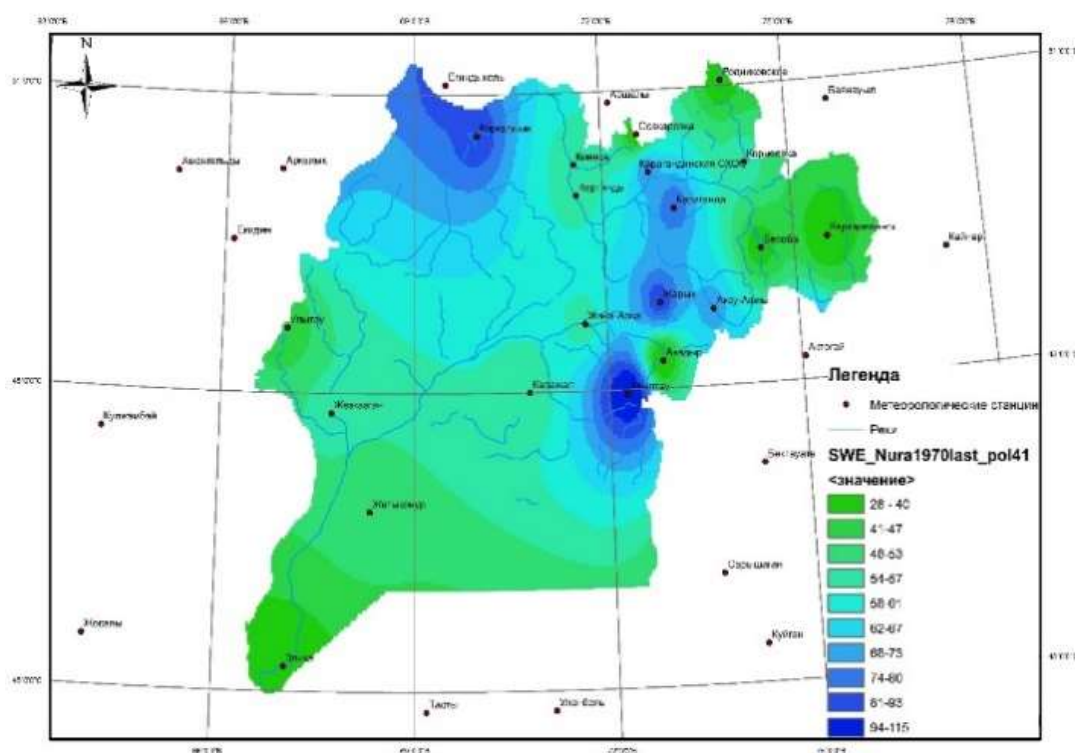
Сурет 23 – Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының қар жамылғысы ылғал қорының 1971-2020 жж. кезеңіндегі айырымдық және жиынтық интегралды қисықтары

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.

Қар жамылғысының максималды ылғал қорының ( $\overline{SWE}_{max}$ ) кеңістіктік таралуын анықтау мақсатында ArcGIS 10.2 геоақпараттық жүйесі көмегімен карта тұрғызылды (24-сурет).

1971-2020 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 ст.) – 118 мм (Қызылту ст.) аралығында өзгеретіні, ал оның алап бойынша орташа көпжылдық мәні 64,0 мм құрайтыны анықталды. Нұра-Сарысу алабы аумағындағы 3.10-суреттен көріп отырғанымыздай, 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.

Қарастырылып отырған 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 жетеді.



Сурет 24 – 1971-2020 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 1971-2020 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, 3.4-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 0,5 – 6,2 мм/10 жыл жылдамдығымен азайғандығын көрсетті.  $\overline{SWE}_{max}$  өсуінің статистикалық маңызды трендтері Ақсу-Аюлы және Қарағанды СХОС станцияларында орын алғандығы анықталды. Ақсу-Аюлы станциясында қар жамылғысы ылғал қоры 10,3 мм/10 жыл жылдамдықпен өссе, Қарағанды СХОС станциясында 6,2 мм/10 жыл жылдамдығымен азайғандығын байқауға болады. Аталған станциялардағы қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру трендтерінің маңыздылығы

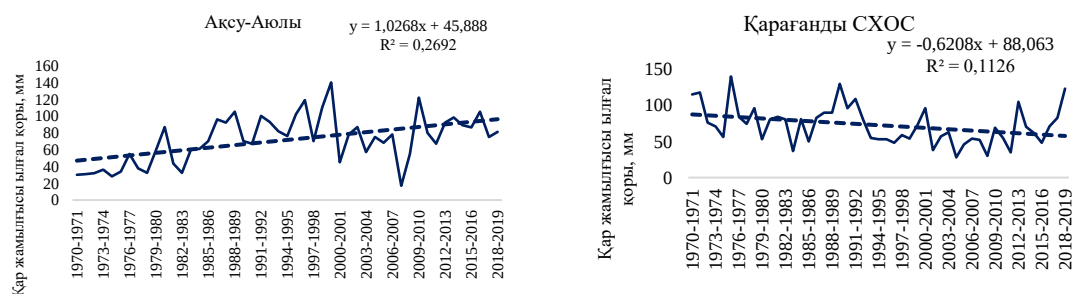
детерминация коэффициенті көрсеткіші мен Фишердің F үлестіру критерийімен бағаланды (3.14-кесте).

Кесте 3.14 – Нұра-Сарысу сушаруашылық алабындағы метеорологиялық станциялардың 1971-2020 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     | МК-stat                            | s.e.         | z-stat        | p-value      | trend      |
| 1  | Қорғалжын               | 2,1                     | 1,3         | 0,0        | 0,7         | 74                                 | 116,0        | 0,629         | 0,529        | no         |
| 2  | Ақадыр                  | 1,6                     | 2,5         | 0,0        | 1,3         | 81                                 | 115,8        | 0,691         | 0,490        | no         |
| 3  | Ақсу-Аюлы               | 10,3                    | <b>26,9</b> | 0,3        | <b>18,1</b> | 458                                | 116,0        | <b>3,941</b>  | <b>0,000</b> | <b>yes</b> |
| 4  | Бесоба                  | 0,0                     | 0,0         | 0,0        | 0,0         | 19                                 | 115,9        | 0,155         | 0,877        | no         |
| 5  | Жаңаарқа                | -0,5                    | 0,1         | 0,0        | 0,1         | -1                                 | 115,9        | 0,000         | 1,000        | no         |
| 6  | Жарық                   | 0,6                     | 0,1         | 0,0        | 0,1         | -11                                | 115,9        | -0,086        | 0,931        | no         |
| 7  | Жезқазған               | -0,5                    | 0,1         | 0,0        | 0,1         | -53                                | 116,0        | -0,448        | 0,654        | no         |
| 8  | Жетіқоңыр               | -3,4                    | 1,8         | 0,0        | 0,9         | -136                               | 116,0        | -1,164        | 0,244        | no         |
| 9  | Қарағанды               | 4,6                     | 7,1         | 0,1        | 3,8         | 197                                | 115,9        | 1,691         | 0,091        | no         |
| 10 | Қарағанды СХОС          | -6,2                    | <b>11,3</b> | 0,1        | <b>6,2</b>  | -261                               | 116,0        | <b>-2,242</b> | <b>0,025</b> | <b>yes</b> |
| 11 | Кертінді                | 2,4                     | 3,7         | 0,0        | 1,9         | 183                                | 116,0        | 1,570         | 0,117        | no         |
| 12 | Қызылту                 | -1,4                    | 0,3         | 0,0        | 0,2         | -37                                | 116,0        | -0,310        | 0,756        | no         |
| 13 | Корнеевка               | 3,1                     | 4,1         | 0,0        | 2,1         | 155                                | 115,9        | 1,328         | 0,184        | no         |
| 14 | Родниковское            | 0,7                     | 0,5         | 0,0        | 0,3         | 72                                 | 115,9        | 0,612         | 0,540        | no         |
|    | орташа                  | <b>0,7</b>              | <b>0,3</b>  | <b>0,0</b> | <b>0,1</b>  | <b>77</b>                          | <b>116,0</b> | <b>0,655</b>  | <b>0,512</b> | <b>no</b>  |

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

Жалпы Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында алаптық деңгейде қар жамылғысы максималды ылғал қорының трендтері өзгеруі маңызды еместігі анықталды (3.11 а, б-сурет).



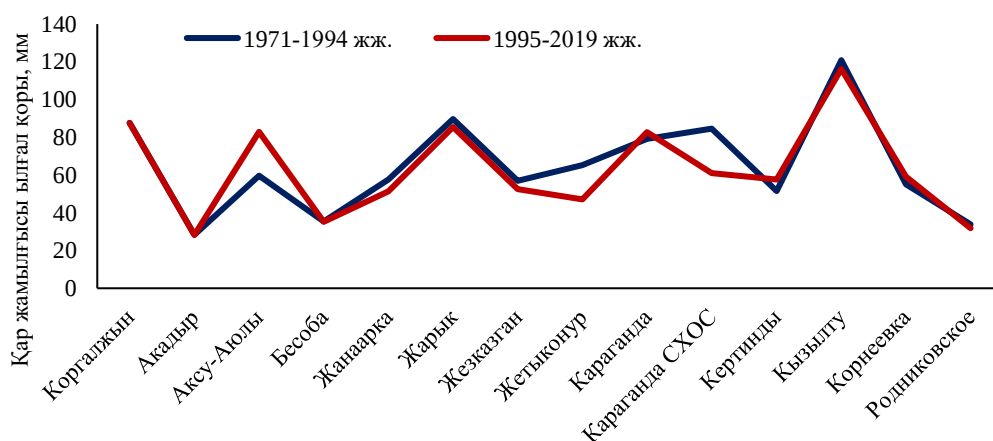
Сурет 3.11 (а) – Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының орташа аудандық қар жамылғысы ылғал қорының 1971-2020 жж. кезеңінде таралуы



Сурет 3.11 (б) – Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының орташа аудандық қар жамылғысы ылғал қорының 1971-2020 жж. кезеңінде таралуы

Қар жамылғысы максималды ылғал қорының климаттың өзгеруі жағдайында өзгеруін анықтау мақсатында көпжылдық уақыттық қатары теңдеу екі кезеңге: 1971-1994 және 1995-2020 жж. бөлініп қарастырылды (3.12-сурет).

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы аумағында 1971-1994 жж. (базалық) және 1995-2020 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 СХОС станциясында ылғал қорының 23,6 мм азайғандығы анықталды.



Сурет 3.12 – Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында 1971-1994 жж. және 1995-2020 жж. қар жамылғысы максималды ылғал қорының өзгеруі

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.

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

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының 1971-2020 жж. кезеңіндегі қар жамылғысы максималды ылғал қорының кеңістіктік-уақыттық өзгеруін бағалау нәтижесінде келесі **қорытындыны** жасауға болады:

- Тұрақты қар жамылғысы алап бойынша 25 қазан – 1 қаңтар аралығында, орташа алғанда 17 қараша орнатылады. Ал тұрақты қар жамылғысының жойылуы 24 ақпан – 15 сәуір аралығында, орта есеппен 27 наурызда орын алады;

- Қар жамылғысымен болатын күндер саны 92 – 142 күн аралығында ауытқиды, ал орта есеппен 128 күнді құрайды. Алаптың солтүстік және Сарысу алабының бастауы, Ақтау таулары, аймағында қармен болған күндер саны 120 күннен жоғары екендігі және алап бойынша күндер санының жоғарылығымен ерекшеленетіні анықталды. Сонымен бірге, оңтүстіктен солтүстік аймақтарға қарай қарлы күндер санының азаюы, яғни Жезқазған МС 106, Жетіқоңыр МС 92 күнді құрайтындығы анықталды;

- Қар жамылғысы ылғал қоры максималды мәніне ақпанның екінші және үшінші онкүндігі аралығында байқалып, орта есеппен 38 мм құрайды. Максималды ылғал қоры орнатылғанға дейін ол 1-6 мм/онкүндікке өссе, алап үшін орташа есеппен 3,0 мм/онкүндік жылдамдығымен өседі. Ал еру жылдамдығы 8,0 мм/онкүндігіне еритіндігі байқалады;

1971-2020 жж. кезеңіндегі көпжылдық ылғал қоры мәліметтері негізінде алапта орналасқан әрбір метеорологиялық станция үшін олардың нормалары есептелді. Нәтижесінде қар жамылғысы максималды ылғал қоры мәні 28,3 мм (Ақадыр) – 118,5 мм (Қызылту) аралығында ауытқыса, алап үшін орташа аудандық мәні – 63,7 мм құрайтыны анықталды. Есептелген нормалардың репрезентативтілігі қатардың орташа көпжылдық шамасының салыстырмалы орташа квадраттық қателігі мен вариация коэффициентінің салыстырмалы орташа квадраттық қателігі көмегімен анықталды.

- Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының қар жамылғысындағы максималды ылғал қорының айырымдық интегралды қисығына сәйкес, 1970 жылдан 1986 жылға дейінгі кезең қар жамылғысы ылғал қорының төмендеу циклін көрсетсе, 1987 ж. бастап 2001 ж. дейінгі кезеңінде ұлғаю циклі байқалады, әрі қарай 2002-2012 жж. – төмендеу циклі, ал 2013 ж. бастап ылғал қорының жоғарылау циклін көрсетеді;

- қар жамылғысының максималды ылғал қорының өзгеру жылдамдығы келесідей болды: өсу жылдамдығы 0,60 – 10,3 мм/10 жыл құраса, азаю

жылдамдығы 0,50 – 6,20 мм/10 жыл тең. Қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру жылдамдығында қандай да бір заңдылықтың орын алуы анықталмады.  $\overline{SWE}_{max}$  өсуінің статистикалық маңызды тренді Ақсу-Аюлы метеорологиялық станциясында байқалса,  $\overline{SWE}_{max}$  төмендеуінің статистикалық маңызды тренді Қарағанды СХОС станциясында байқалған. Бұл өзгерістер Фишердің үлестіру критерийі бойынша F есептеулерімен де расталады;

- Ман-Кендалл параметрлік емес тестінің нәтижелеріне сәйкес, Ақсу-Аюлы станциясында қар жамылғысы ылғал қорының өсу тенденциясы байқалып, оның өсуі маңызды болып табылатыны анықталды. Ал Қарағанды СХОС станциясында азаю тенденциясының маңыздылығы анықталды.

Зерттеу жұмысында алынған нәтижелер [151] жұмысында жарық көрген.

### **3.3 Қазақстанның жазық аумағы үшін реанализ мәліметтерін қолдану мүмкіндіктері**

Зерттеу жұмысында ай сайынғы климат және климаттық су балансы деректері бойынша жоғары ажыратымдылықты жаһандық деректер жинағы – *Terra Climate* реанализінің қар жамылғысы ылғал қорының өнімділігін талдау және оны қолдану мүмкіндігін анықтау үшін қарастырылды.

*Terra Climate* жауын-шашынның, максималды және минималды температураның, желдің жылдамдығының, бу қысымының және күн радиациясының айлық деректер жиынтығын алу үшін *WorldClim* деректер жиынтығынан жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы климатологиялық нормаларды басқа көздерден шешілетін уақыттың өзгеретін (яғни айлық) деректерімен біріктіру арқылы климаттық интерполяцияны қолданады.

Сонымен қатар, *Terra Climate* булануды, жауын-шашынды, температураны және өсімдіктермен алынған топырақтың интерполяцияланған ылғал сыйымдылығын қамтитын су балансының үлгісін пайдалана отырып, ай сайынғы беткі су балансының деректерін жасайды. Бұл деректер жоғары кеңістіктік ажыратымдылықты қажет ететін және климат пен климаттық су балансы туралы уақыт бойынша өзгеретін жаһандық ауқымдағы экологиялық және гидрологиялық зерттеулер үшін маңызды бастапқы материал болып табылады. Біз *TerraClimate* кеңістіктік-уақыттық аспектілерін жыл сайынғы температура, жауын-шашын және станциялардың болжамды булану деректерін, сондай-ақ өзен ағындарының жылдық ағынын пайдаланып тексерілді.

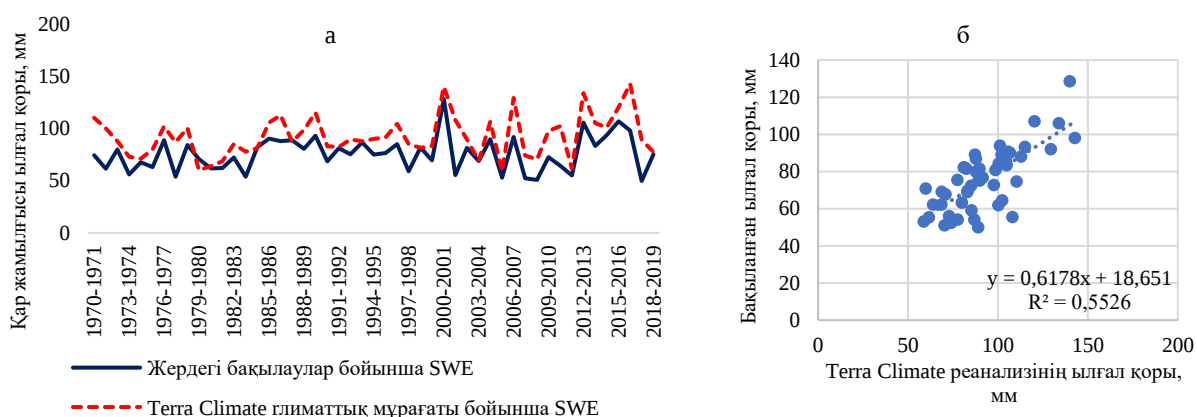
Тексеру барысында *TerraClimate* деректер жиыны жалпы орташа абсолютті қатенің жақсарғанын және дөрекі ажыратымдылықтағы деректер жиынымен салыстырғанда кеңістіктік реализмнің жоғарылағанын көрсетті [152].

*Terra Climate* реанализі мәліметтер базасынан [153] SWE мәліметтері 1970-2020 жж. кезеңдері үшін орташа айлық және жылдық мерзімде жүктеліп, QGIS геоакпараттық жүйесі арқылы өңделіп, талдау жұмысы жүргізілді.

Есіл сушараушылығы алабы үшін бақыланған қар жамылғысы мен *Terra Climate* реанализінің мәліметтері 1970-2020 жж. кезеңінің таралу графигі және

байланыс графигі 3.13-суретте көрсетілген. Талдау барысында реанализ және бақылау мәліметтері арасындағы байланыстың өнімділіктің «жақсы» ( $R^2=0.55$ ,  $R=0.74$ ) деңгейіне сәйкес келетіндігі детерминация коэффициенті арқылы анықталды.

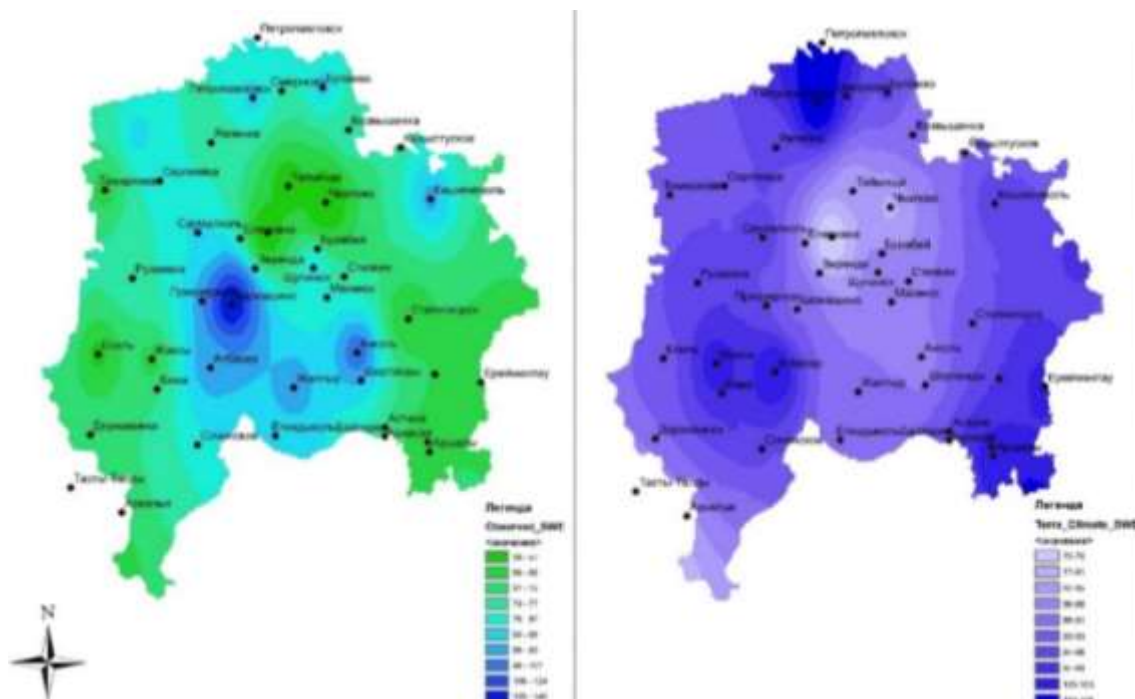
Terra Climate реанализінің мәліметтері жер беті бақылау мәліметтерін өндіруде жалпы алап бойынша қар жамылғысы ылғал қорын алап бойынша орташа алғанда 17 мм-ге жоғары бағалайтыны анықталды. 1971-2020 жж. егер бақылау мәліметтер бойынша қар жамылғысы ылғал қоры 1,87 мм/10 жыл жылдамдығымен өсетіні анықталса, Terra Climate реанализі мәліметтері бойынша 3,55 мм/10 жыл жылдамдығымен жоғарылайтындығы анықталды. Алайда екі бақылау мәліметтеріне сәйкес, бұл жоғарылау статистикалық маңыздылыққа ие емес.



Сурет 3.13 – Есіл су шаруашылық алабында максималды ылғал қорының 1971-2020 жж. уақыттық өзгеру (а) және жердегі бақылау мәліметтерімен байланыс (б) графиктері

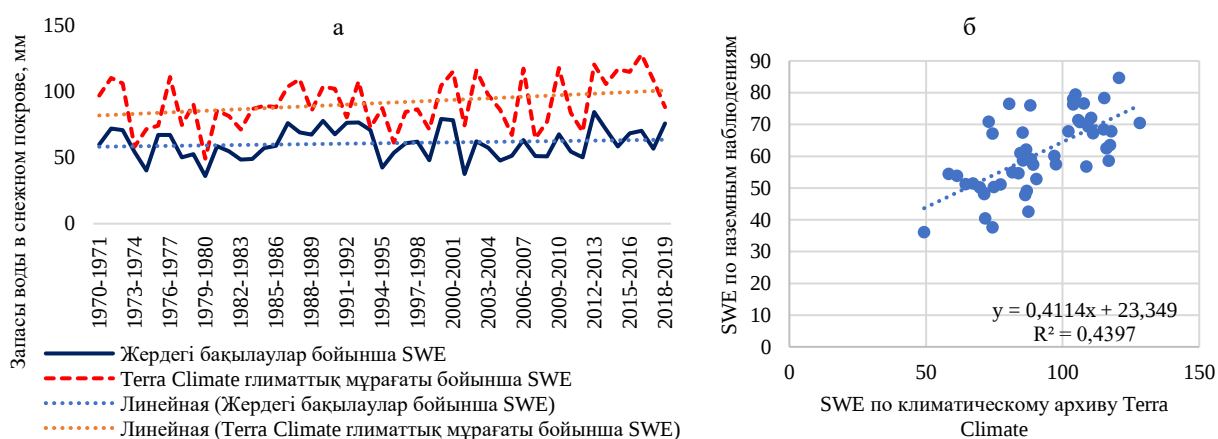
Terra Climate реанализі алап бойынша 24 МС мәліметтерімен қар жамылғысы ылғал қорын өндіруін талдау барысында, оның алаптың биік жерлерінде ылғал қорын жақсы өндіретіні байқалады. Мәселен, биіктігі жоғары аймақтарда екі мәлімет арасындағы айырмашылық 3-12 мм құраса, алаптың жазық аудандарында бұл көрсеткіш СҚО-да 33 мм (Тайынша, Петропавл МС), Ақмала облысында 41 мм (Степногорск, Аршалы, Ерейментау МС) дейін жететіндігі анықталды.

Қар жамылғысы ылғал қорының Terra Climate реанализі мәліметтері негізінде кеңістіктік таралу картасы тұрғызылды (3.14-сурет). Terra Climate климаттық қор деректерінің бақылау мәліметтерімен айырмашылығына қарамастан, қар жамылғысы ылғал қорының кеңістіктік таралуында жақсы нәтижелер көрсететіндігін аңғаруға болады. Яғни, ылғал қорының жоғары мәндері мен төмен мәндері ошақтарын жақсы айқындайды [154].



Сурет 3.14 – Есіл су шаруашылығы алабындағы жер беті бақылау желісі мәліметтері мен Terra Climate климаттық реанализ мұрағатының 1971-2020 жж. мәліметтерін салыстырмалы картасы

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы үшін бақыланған қар жамылғысы мен Terra Climate реанализінің мәліметтері 1971-2020 жж. кезеңінің таралу графигі және байланыс графигі 3.15-суретте көрсетілген. Талдау барысында реанализ және бақылау мәліметтері арасындағы байланыстың өнімділіктің «қанағаттанарлық» ( $R^2=0.44$ ,  $R=0.66$ ) деңгейіне сәйкес келетіндігі детерминация коэффициенті арқылы анықталды.

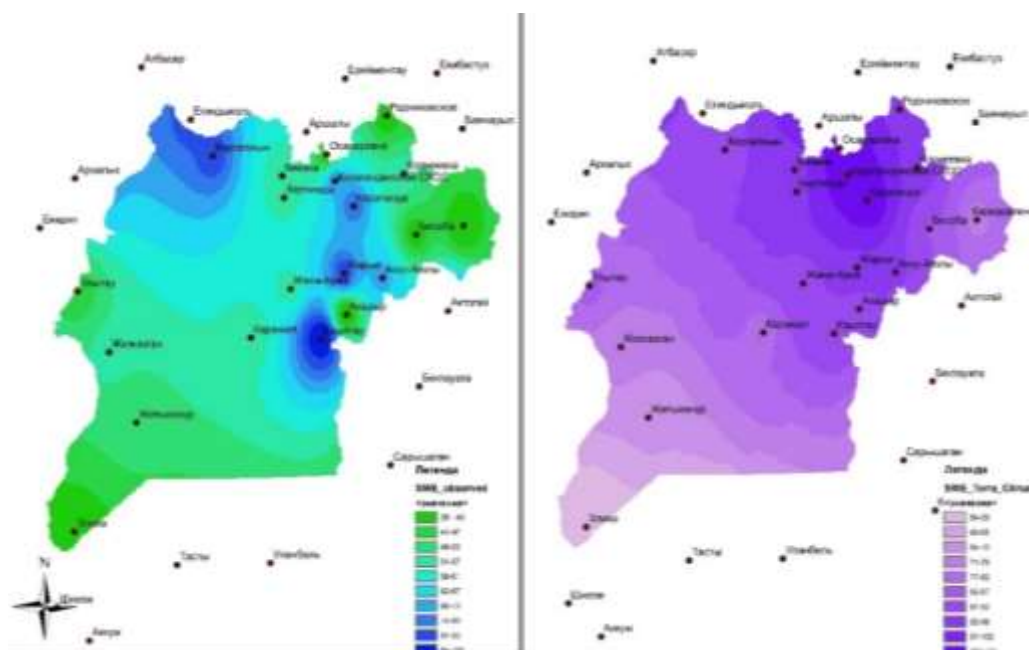


Сурет 3.15 – Нұра-Сарысу су шаруашылық алабында максималды ылғал қорының 1971-2020 жж. уақыттық өзгеру (а) және жердегі бақылау мәліметтерімен байланыс (б) графиктері

Terra Climate реанализінің мәліметтері жер беті бақылау мәліметтерін өндіруде жалпы алап бойынша қар жамылғысы ылғал қорын алап бойынша орташа алғанда 30 мм-ге жоғары бағалайтыны анықталды. 1971-2020 жж. егер бақылау мәліметтер бойынша қар жамылғысы ылғал қоры 1,11 мм/10 жыл жылдамдығымен өсетіні анықталса, Terra Climate реанализі мәліметтері бойынша 3,94 мм/10 жыл жылдамдығымен жоғарылайтындығы анықталды. Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында да бұл жоғарылау статистикалық маңыздылыққа ие емес.

Қар жамылғысы ылғал қорының Terra Climate реанализі мәліметтері негізінде кеңістіктік таралу картасы тұрғызылды (3.16-сурет).

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында қар жамылғысы ылғал қорының кеңістіктік таралуында бақылау мәліметтеріне сәйкес таралудың зоналдылығы тән. Алайда, ылғал қорының таралуының максималды ошағы Terra Climate реанализі бойынша тек алаптың солтүстік аймағында (Қарағанды МС) байқалатыны анықталды, ал бақылау мәліметтеріне сәйкес ылғал қоры Сарысу өзені бастауы аймағында, алаптың солтүстік батыс аймағында Нұра өзенінің Теңіз көліне құяр аймағында байқалады.



Сурет 3.16 – Нұра-Сарысу су шаруашылығы алабындағы жер беті бақылау желісі мәліметтері мен Terra Climate климаттық реанализ мұрағатының 1971-2020 жж. мәліметтерін салыстыру картасы

Осылайша, Terra Climate климаттық қорының мәліметтері қар жамылғысы ылғал қорын Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алаптары, яғни Қазақстанның жазық аймағында өнімділіктің «жақсы» және «қанағаттанарлық» деңгейінде шығарылатыны анықталды. Есіл сушаруашылығы алабында көпжылдық мерзімде ылғал қорын 17 мм, ал Нұра-Сарысу алабында 30 мм-ге жоғары бағалайтындығы анықталды.

## 4 ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫ ЫЛҒАЛ ҚОрын САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ

Жұмыстың негізгі мақсаты – MODSNOW моделінің негізгі компонентінің бірін қолдана отырып, қар жамылғысы ылғал қоры мәліметін модельдеу.

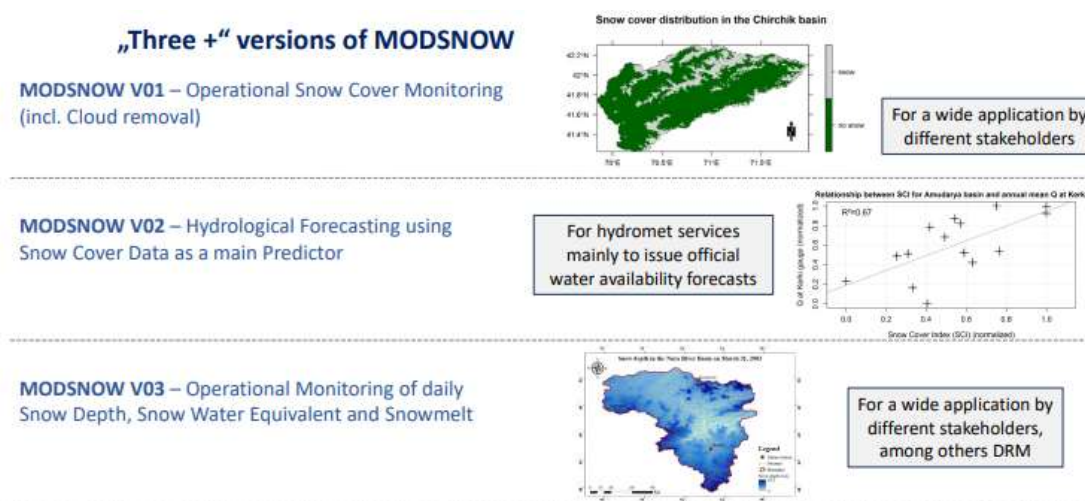
**Зерттеу әдісі.** Қар жамылғысы ылғал қорын модельдеу мақсатында бұл жұмыста MODSNOW моделінің негізгі компоненті MODSNOW V03 нұсқасы пайдаланылды.

MODSNOW-tool бағдарламасы [51] MODIS қар жамылғысы туралы деректерді өңдеуге арналған. Terra және Aqua спутниктеріне орнатылған modis оптикалық сенсоры сәйкесінше 2000 жылдың наурызы мен 2002 жылдың шілдесінен бастап жерді бақылайды.

MODSNOW-tool бағдарламасы 500 м кеңістіктік ажыратымдылықтағы modis Terra және Aqua күнделікті екілік өнімін (MOD 10 A және Myd10a, v005 нұсқасы) пайдаланады. Ұлттық қар және мұз деректер орталығынан (NSIDC) алынған. Қар жамылғысы бойынша modis өнімін Hierarchical data Format (PDF) форматында алуға болады және 10 және 10 м тақтайшаларға таратылады. Бүкіл жер шары 36 көлденең (h) және 18 тік (v) тақтайшалармен жабылған. H22v04, h22v05, h23v04 және h23v05 тақтайшалары Орталық Азиядағы Амудария мен Сырдария су жинау бассейндерінің Жоғарғы Амудария мен Сырдарияның жоғарғы ағысын толығымен қамтиды.

Қазіргі таңда MODSNOW моделінің негізгі 3 компоненті (4.1-сурет) жұмыс жасайды:

1. MODSNOW V01 – Қар жамылғысының жедел мониторингісі;
2. MODSNOW V02 – Негізгі болжам ретінде қар жамылғысы туралы деректерді пайдалана отырып гидрологиялық болжау;
3. MODSNOW V03 – Қардың күнделікті биіктігін, қар жамылғысы ылғал қорын және қардың еруін жедел бақылау.



Сурет 4.1 – MODSNOW моделінің нұсқалары [155]

MODSNOW V03 моделінде қар жамылғысы ылғал қорын модельдеу «градус-тәулік» әдісіне негізделген. «Градус-тәулік» әдісі – жалпы тәуліктік еруді орташа тәуліктік температура мен базалық температура (әдетте 32 °F немесе 0 °C) арасындағы температура айырмашылығына көбейтілген коэффициентпен теңестіретін температура индексын қолдану тәсілі (4.1-тендеу):

$$M = C_M(T_a - T_b) \quad (4.1)$$

мұндағы:  $M$  – қар жамылғысының тәуліктік еруі (мм/күн);  $C_M$  – «градус-күн» коэффициенті (мм/күніне °C градус);  $T_a$  – тәуліктік орташа ауа температурасы (°C);  $T_b$  – негізгі температура (base temperature, °C).

$C_M$  коэффициенті жергілікті жер мен маусым кезеңіне қарай өзгеріп отырады. Әдетте оның шамасы 1,6 – 6,0 мм/ °C градус күні аралығында ауытқиды.  $C_M$  коэффициенті сонымен бірге қардың тығыздығы мен желдің жылдамдығымен [156] және қардың биіктігі мен жинақталған градус-күндермен байланысты. Бұл өзгерістер уақыт пен кеңістіктегі әртүрлі энергетикалық динамиканы және қар жамылғысының өзгертін жағдайларын көрсетеді. Ал Орта Азияның континенталды климатын ескере отырып, MODSNOW моделінде  $C_M$  – «градус-күн» коэффициенті 2,0 – 8,0 мм/күніне °C аралығында өзгереді. Ал температураның өзгеруі -5,0 пен +5,0 °C аралығында ауытқиды.

Модель қар жамылғысы ылғал қорын модельдеу үшін кіріс ақпараты ретінде орташа тәуліктік ауа температурасы мен жауын-шашынның жиынтық мөлшері, қардың биіктігі мәліметтері қорын пайдаланады.

**Әдістеменің тиімділігін бағалау.** «Градус-күн» әдістемесінің жергілікті қар жамылғысы ылғал қорын модельдеу тиімділігін бағалау мақсатында модель келесі критерийлерді есептейді: Нэш-Сатклифтің тиімділік критерийі (NSE), стандартты ауытқу коэффициенті (RSR), Пайыздық ауытқу (PBIAS), детерминация коэффициенті ( $R^2$ ).

*Нэш-Сатклифтің тиімділік критерийі (NSE)* деректердің өлшенген дисперсиясымен («ақпарат») салыстырғанда қалдық дисперсияның («шу») салыстырмалы шамасын анықтайтын нормаланған статистикалық есептеулерге негізделген [157]. NSE бақыланатын және модельденетін деректер шамасының бір-біріне қаншалықты сәйкес келетінін көрсетеді және келесі 4.2-тендеудің көмегімен анықталады:

$$NSE = 1 - \frac{\sum(SWE_{obs} - \overline{SWE}_{sim})^2}{\sum(SWE_{obs} - \overline{SWE}_{sim})^2}, \quad (4.2)$$

мұндағы,  $SWE_{obs}$  – қар жамылғысы ылғал қорының бақыланған мәндері,  $SWE_{sim}$  – қар жамылғысы ылғал қорының модельденген мәндері,  $\overline{SWE}_{sim}$  – қар жамылғысы ылғал қорының көпжылдық кезеңдегі орташа мәні.

Бұл статистикалық көрсеткіш  $-1,0 < NSE < +1,0$  аралығында ауытқиды.  $NSE=1$  көрсеткіші оңтайлы нәтижені көрсетеді, егер көрсеткіш  $0,0 < NSE < +1,0$  аралығында болса, әдетте өнімділіктің қолайлы деңгейлері ретінде қарастырылады, ал  $NSE < 0,0$  жағдайында орташа бақыланатын мән модельденген мәнге қарағанда жақсы болжаушы екенін көрсетеді, яғни қолайсыз өнімділікті көрсетеді.  $NSE$  көрсеткіші әдістеменің тиімділігін бағалауда өте жиі пайдаланылады, мәселен, гидрологиялық [158] және гидроклиматтық модельдерді тексеру мақсатында [159], сонымен бірге [160]  $NSE$  гидрографтың жалпы жарамдылығын көрсететін ең жақсы объективті функция деген қорытындыға келді.

*Орташа квадраттық ауытқудың (RMSE) стандартты ауытқу коэффициенті (RSR).* Орташа квадраттық ауытқу (RMSE) қателер индексінің жиі қолданылатын статистикалық көрсеткіштерінің бірі [161] болып табылады. RMSE неғұрлым төмен болса, модельдің өнімділігі соғұрлым жоғары болатындығы мәлім еді, тек бақылаулардың стандартты ауытқуына негізделген төмен RMSE деп саналатын нәрсені анықтауға арналған нұсқаулық жариялады. Singh [161] ұсынысымен орташа квадраттық ауытқудың (RMSE) стандартты ауытқу коэффициенті (RSR) атты модель нәтижесін статистикалық бағалау енгізілді. RSR 4.3-тендеуде көрсетілгендей, ол RMSE мен өлшенген деректердің стандартты ауытқуы қатынасы ретінде есептеледі:

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2} \right]}{\left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right]} \quad (4.3)$$

RSR көрсеткіші орташа квадраттық ауытқудың немесе қалдықтық вариацияның нөлдік мәнін көрсететін оптималды ( $RSR=0$ ) мәнінен оң таңбалы шексіз мәнге дейін өзгереді. Яғни, RSR төмен болған сайын, RMSE де төмен болады, сәйкесінше модельдің өнімділігі жоғары екендігін көрсетеді.

*Пайыздық ауытқу (PBIAS).* Пайыздық ауытқу модельденген деректердің орташа тенденциясын олардың бақыланатын аналогтарынан үлкен немесе кіші деп өлшейді [162]. Оңтайлы PBIAS мәні 0,0 тең, ал төмен мәндер модельдің дәл модельдеуін көрсетеді. Оң мәндер модельді бағаламаудың (недооценка) жүйелік қателігін көрсетеді, ал теріс мәндер модельді бағалаудың жоғары жүйелі қателігін (завышенная оценка) көрсетеді (4.4-тендеу):

$$PBIAS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right] \quad (4.4)$$

мұндағы PBIAS – пайызбен көрсетілген бағаланатын деректердің ауытқуы.

Тиімділікті бағалауға ұсынылған статистикалық критерийлер 16-кестеде берілген өнімділік деңгейі бойынша бағаланады.

Кесте 4.1 – Тиімділікті бағалауға ұсынылған статистика [163]

| Өнімділік деңгейі | RSR             | NSE             | PBIAS, %        |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Өте жақсы         | 0.00 <RSR <0.50 | 0.75 <NSE <1.00 | PBIAS <±10      |
| Жақсы             | 0.50 <RSR <0.60 | 0.65 <NSE <0.75 | ±10 <PBIAS <±15 |
| Қанағаттанарлық   | 0.60 <RSR <0.70 | 0.50 <NSE <0.65 | ±15 <PBIAS <±25 |
| Қанағаттарлықсыз  | RSR > 0.70      | NSE <0.50       | PBIAS > ±25     |

#### 4.1 Қар жамылғысы ылғал қоры мәліметтерін модельдеу нәтижелері

Қар жамылғысы ылғал қоры мәліметтерін модельдеу мақсатында Есіл сушаруашылығы алабында орналасқан 20 метеорологиялық станцияның және Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында орналасқан 12 метеорологиялық станцияның 1980-2021 жж. кезеңіндегі ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері мен қар жамылғысы биіктігі, қар жамылғысы ылғал қорының тәуліктік мәліметтері қолданылды.

Көпжылдық 1980-2021 жж. кезеңі модельді калибрлеу және валидациялау мақсатында екі бірдей кезеңге бөлінді: 1980-1999 жж. және 2000-2021 жж. Яғни, 1980-1999 жж. кезеңі модельдеу үшін оңтайлы параметрлерді таңдау мақсатында пайдаланылса, 2000-2021 жж. кезеңі таңдалған оңтайлы параметрлердің соңғы климаттың қарқынды өзгеруі кезеңі үшін модельдің қар жамылғысы биіктігі мен қар жамылғысы ылғал қорының мәліметтерін үлгілеуін тексеру мақсатында пайдаланылды.

Модельді калибрлеу кезінде калибрлеу әдісі, мақсатты функцияның түрі және таңдалған оқыту үлгілері гидрометеорологиялық режимнің әртүрлі фазаларының ең дәл көрінісін қамтамасыз етуі керек екенін есте ұстаған жөн. Сонымен, біз модельді калибрлеуді модельденген шама нақты нәрсеге мүмкіндігінше жақын болатындай етіп жасаймыз.

Модель калибрлеу кезеңінде әрбір бақылау станциясы үшін бақылау мәліметтері негізінде оңтайлы параметрлерді таңдайды, яғни бұл процесс кезінде модель әрбір «градус-тәулік» коэффициенті мен ауа температурасын бір-біріне сәйкестендіреді. Мысалы, әрбір «градус-тәулік» коэффициентіне -5,0 °C-тан бастап, +5 °C-қа дейін әрбір 0,1 немесе 1,0 °C қадамымен жүре отырып, барлық мүмкін болатын нұсқаларды таңдап, ішінен ең оңтайлыларын береді. Әрі қарай жергілікті жердің физико-географиялық, топографиялық, климаттық ерекшеліктеріне қарай параметрлер таңдалады.

Осылайша, Есіл сушаруашылығы алабы үшін 1980-1999 жж. модельді калибрлеу нәтижелері бойынша алынған параметрлер мен тиімділікті анықтаудың нәтижелері 15-кестеде көрсетілген.

Есіл сушаруашылығы алабында орналасқан станцияларды калибрлеу нәтижесінде бағалау критерийлерінің есептеулері негізінде барлық көрсеткіш бойынша өнімділіктің «өте жақсы» рейтингісін Сергеевка, Кішкенекөл, Благовещенка, Явленка станцияларында байқалса, өнімділіктің «жақсы» рейтингісі Ақкөл, Балкашино, Рузаевка, Степногорск, Булаево, Чкалово,

Ерейментау, Жалтыр станцияларында байқалғандығы анықталды. Ал қалған 8 метеорологиялық станциялардың нәтижелері өнімділік рейтингісінің «қанағаттанарлық» немесе «қанағаттанарлықсыз» деңгейіне сәйкес келгені байқалды.

Модельдің «өте жақсы» өнімділік рейтингісіне сәйкес келетін метеорологиялық станцияларында (Сергеевка, Кішкенекөл, Благовещенка, Явленка) жауын-шашынның қарға айналу температурасы  $0,0^{\circ}\text{C}$  пен  $-2,5^{\circ}\text{C}$  аралығында ауытқиды. Ал өнімділіктің «жақсы» рейтингісіне сәйкес келетін станцияларда бұл көрсеткіш үлкен диапазонға ие, яғни  $+1,0^{\circ}\text{C}$  пен  $-3,5^{\circ}\text{C}$  аралығын қамтиды. Егер кеңістіктік таралуын қарастыратын болсақ, алаптың солтүстік-шығыс жазық аймағында жауын-шашын  $0,0...+0,05^{\circ}\text{C}$ -та қар ретінде жауса, алаптың солтүстік-шығысында, Есіл өзенінің төменгі ағысы аймағында, жауын-шашынның қар ретінде түсуі  $-1,0...-2,5^{\circ}\text{C}$  кезінде орын алатындығы анықталды. Сонымен қатар, алаптың орталық аймақтарында, Қалқұтан өзен алабын (Жалтыр станциясында  $-3,5^{\circ}\text{C}$ ) ескермегенде, қар ауа температурасы  $+0,5...+1,0^{\circ}\text{C}$  кезінде түсетіні байқалады.

Қар жамылғысының еру температурасы жалпы алап үшін  $-2,5 ... 0,0^{\circ}\text{C}$  құрайды. Алаптың биіктігі 300-400 м болатын аймақтарда (Жайбай, Қалқұтан, Шағалалы өзен алаптары) қар жамылғысының еруі орта есеппен  $0,0^{\circ}\text{C}$  кезінде орын алады, сонымен қатар Есіл өзенінің төменгі ағысы аймағында да қардың еруі  $-0,5 ... 0,0^{\circ}\text{C}$  шамасында орын алуы байқалады. Ал алаптың солтүстік-шығыс жазық аймағында (Кішкенекөл, Чкалово станциялары) қар жамылғысы  $-2,0 ... -2,5^{\circ}\text{C}$  кезінде еритіндігі байқалады.

Қар жамылғысының тәуліктік еруін есептеуге қатысушы «градус-тәулік» коэффициенті Есіл алабының негізгі су ресурстары қалыптасу аймағында, яғни алаптың орталық және оңтүстік аймақтарында,  $4,0 - 5,0 \text{ мм}/^{\circ}\text{C}$  күніне еритіндігі анықталды. Ал Есіл өзені алабының төменгі ағысында бұл көрсеткіш  $6,0 - 8,0 \text{ мм}/^{\circ}\text{C}$  күніне құрайтындығы байқалады (4.2-кесте).

Кесте 4.2 – MODSNOW V03 моделі көмегімен қар жамылғысы ылғал қорын 1980-1999 жж. кезеңі үшін калибрлеу нәтижелері

| №  | Метеорологиялық станция | Эффективтілік көрсеткіштері |          |      |      | Параметрлер            |                                           |                        |
|----|-------------------------|-----------------------------|----------|------|------|------------------------|-------------------------------------------|------------------------|
|    |                         | RSR                         | PBIAS, % | NSE  | R    | Tt, $^{\circ}\text{C}$ | Fdeg, $\text{мм}/^{\circ}\text{C}$ күніне | t0, $^{\circ}\text{C}$ |
| 1  | Ақкөл                   | 0,53                        | 15,11    | 0,71 | 0,85 | 0.50                   | 5.00                                      | -0.50                  |
| 2  | Благовещенка            | 0,46                        | 16,78    | 0,79 | 0,90 | -2.00                  | 6.50                                      | 0.00                   |
| 3  | Балкашино               | 0,47                        | 19,43    | 0,78 | 0,90 | 1.00                   | 7.00                                      | 0.00                   |
| 4  | Рузаевка                | 0,54                        | 10,82    | 0,71 | 0,85 | 1.00                   | 2.00                                      | -3.50                  |
| 5  | Сергеевка               | 0,43                        | 3,79     | 0,81 | 0,91 | -2.50                  | 7.00                                      | 0.00                   |
| 6  | Степногорск             | 0,52                        | 13,91    | 0,73 | 0,87 | 1.00                   | 4.00                                      | -2.00                  |
| 7  | Явленка                 | 0,48                        | 13,37    | 0,77 | 0,88 | -1.00                  | 6.50                                      | -0.50                  |
| 8  | Аршалы                  | 0,73                        | -2,17    | 0,46 | 0,75 | 1.00                   | 4.50                                      | -1.00                  |
| 9  | Булаево                 | 0,55                        | 6,53     | 0,70 | 0,84 | 1.00                   | 8.00                                      | 5.00                   |
| 10 | Чкалово                 | 0,49                        | 2,98     | 0,76 | 0,87 | 0.50                   | 2.00                                      | -2.00                  |
| 11 | Егіндікөл               | 0,60                        | 0,25     | 0,64 | 0,82 | 1.00                   | 2.00                                      | -2.00                  |
| 12 | Ерейментау              | 0,56                        | 3,35     | 0,69 | 0,84 | -3.00                  | 6.00                                      | 0.00                   |

## 4.2 кестенің жалғасы

| №  | Метеорологиялық станция | Эффективтілік көрсеткіштері |          |      |      | Параметрлер |                    |        |
|----|-------------------------|-----------------------------|----------|------|------|-------------|--------------------|--------|
|    |                         | RSR                         | PBIAS, % | NSE  | R    | Tt, °C      | Fdeg, мм/°C күніне | t0, °C |
| 13 | Кішкенекөл              | 0,38                        | 5,88     | 0,85 | 0,93 | 0.00        | 2.00               | -2.50  |
| 14 | Саумалкөл               | 0,55                        | 29,50    | 0,70 | 0,89 | 1.50        | 8.00               | 0.50   |
| 15 | Щучинск                 | 0,71                        | 10,57    | 0,50 | 0,71 | 0.00        | 4.00               | 3.00   |
| 16 | Тайынша                 | 0,56                        | 18,84    | 0,69 | 0,84 | 0.50        | 2.50               | -2.50  |
| 17 | Тимирязево              | 0,56                        | 19,04    | 0,69 | 0,85 | 1.00        | 6.00               | 0.50   |
| 18 | Возвышенка              | 0,84                        | 21,56    | 0,29 | 0,56 | 3.50        | 2.00               | 4.00   |
| 19 | Жақсы                   | 0,92                        | 33,43    | 0,16 | 0,57 | -5.00       | 8.00               | -5.00  |
| 20 | Жалтыр                  | 0,59                        | 11,82    | 0,66 | 0,82 | -3.50       | 3.00               | 0.00   |

Қар жамылғысы ылғал қорын калибрлеу нәтижесінде NSE критерийі 0,16 – 0,85 аралығында ауытқитыны, RSR көрсеткіші 0,38 – 0,84 аралығында, пайыздық қателік PBIAS +0,2 ... +33,4 % диапазонында ауытқитын анықталды. Бұл көрсеткіштер өнімділік рейтингісінің «өте жақсы» бағалауы мен «қанағаттарлықсыз» деңгейі аралығын қамтитынын көрсетті. Көрсеткіштерді талдау нәтижесінде өнімділіктің «өте жақсы» деңгейіне Сергеевка, Чкалово, Кішкенекөл және Рузаевка станциялары, ал «жақсы» көрсеткішке Ақкөл, Благовещенка, Балкашино, Степногорск, Явленка, Булаево, Ерейментау, Саумалкөл, Тайынша, Тимирязево станцияларын нәтижелері жатады. Қалған метеорологиялық станциялардың нәтижелері «қанағаттанарлықсыз» деңгейге жататыны байқалады (18-кесте).

Осылайша, 1980-1999 жж. калибрлеу кезеңі үшін эффективтілік көрсеткіштерінің есептеу нәтижелеріне сәйкес, MODSNOW V03 моделінің Есіл сушаруашылығы алабында орналасқан метеорологиялық станцияларының көп бөлігінде қар жамылғысы ылғал қорын «жақсы» деңгейде модельдеу нәтижелерін көрсетті.

Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында қар жамылғысы ылғал қорын 1980-1999 жж. модельді калибрлеу нәтижелері бойынша алынған параметрлер мен тиімділікті анықтаудың нәтижелері 4.3-кестеде көрсетілген.

Өнімділіктің «өте жақсы», «жақсы» деңгейінің көрсеткішіне сәйкес келген станцияларда жауын-шашынның қарға айналу температурасы -0,5 ... -2,0 °C аралығында, ал қар жамылғысының еру температурасы -2,0 ... 0,0 °C құрайды. Қар жамылғысының тәуліктік еруін есептеуге қатысушы «градус-тәулік» коэффициенті 4,0 – 7,5 мм/ °C күнін құрайтындығы анықталды.

Сарысу өзені алабының бастауында қар жамылғысының тәуліктік еруі жылдамырақ орын алатындығы анықталды.

Кесте 4.3 – MODSNOW V03 моделі көмегімен қар жамылғысы ылғал қорын 1980-1999 жж. кезеңі үшін калибрлеу нәтижелері

| № | Метеорологиялық станция | Эффективтілік көрсеткіштері |          |      |      | Параметрлер |                    |        |
|---|-------------------------|-----------------------------|----------|------|------|-------------|--------------------|--------|
|   |                         | RSR                         | PBIAS, % | NSE  | R    | Tt, °C      | Fdeg, мм/°C күніне | t0, °C |
| 1 | Ақадыр                  | 0.51                        | 7.99     | 0.74 | 0.86 | -0.5        | 7.5                | -1.0   |

#### 4.3 кестенің жалғасы

| №  | Метеорологиялық станция | Эффективтілік көрсеткіштері |          |      |      | Параметрлер |          |      |
|----|-------------------------|-----------------------------|----------|------|------|-------------|----------|------|
|    |                         | RSR                         | PBIAS, % |      |      | RSR         | PBIAS, % |      |
| 2  | Ақсу-Аюлы               | 0.49                        | 15.27    | 0.76 | 0.88 | -1.5        | 6.0      | -1.5 |
| 3  | Ақтоғай                 | 0.61                        | 23.12    | 0.63 | 0.81 | 1.5         | 7.0      | 1.5  |
| 4  | Бектауата               | 0.54                        | 8.43     | 0.71 | 0.84 | -2.0        | 6.0      | 0.0  |
| 5  | Жаңаарқа                | 0.59                        | 34.67    | 0.65 | 0.84 | -1.0        | 2.0      | -1.5 |
| 6  | Жетқоңыр                | 0.92                        | -24.67   | 0.16 | 0.55 | 2.0         | 2.0      | 5.0  |
| 7  | Корнеевка               | 0.72                        | 20.35    | 0.48 | 0.75 | -4.0        | 8.0      | -1.5 |
| 8  | Қарағанды               | 0.63                        | 3.60     | 0.60 | 0.81 | 0.5         | 3.0      | -2.0 |
| 9  | Құлжамбай               | 0.62                        | -2.12    | 0.62 | 0.80 | 1.0         | 6.5      | 0.0  |
| 10 | Жарық                   | 0.46                        | 14.90    | 0.79 | 0.89 | -0.5        | 4.5      | -1.5 |
| 11 | Жезқазған               | 0.54                        | 10.39    | 0.70 | 0.85 | -1.0        | 4.0      | -2.0 |
| 12 | Бесоба                  | 0.55                        | 15.83    | 0.70 | 0.84 | -1.0        | 5.5      | -1.5 |
| 13 | Родниковское            | 0.68                        | 13.76    | 0.54 | 0.74 | 3.5         | 2.0      | 5.0  |

Қар жамылғысы ылғал қорын калибрлеу нәтижесінде NSE критерийі 0,16 (Жетіқоңыр) мен 0,79 (Жарық) аралығында ауытқитындығы анықталды. Корреляция коэффициенті де NSE критерийінің көрсеткіштерімен сәйкес келгендігі байқалады. Пайыздық PBIAS қателік көрсеткіші 2 – 34 % аралығында ауытқитындығын, сонымен қатар модельді ылғал қорын асыра бағалайтындығы анықталды, тек Жетіқоңыр, Құлжамбай станцияларында ғана ылғал қорын жеткіліксіз бағалайтындығы анықталды, дегенмен бұл станциялардың нәтижелері өнімділіктің «қанағаттанарлық» деңгейіне сәйкес келеді.

RSR стандартты ауытқу коэффициенті 0,46 – 0,92 аралығында ауытқиды: мұнда ауытқудың ең төменгі көрсеткіші Жарық, Ақсу-Аюлы МС байқалған.

Осылайша, алапта орналасқан станциялардың қар жамылғысы ылғал қорын калибрлеу нәтижесінде өнімділіктің «өте жақсы» деңгейін Ақсу-Аюлы станцияларында байқалса, «жақсы» деңгей Ақадыр, Бектауата, Жарық, Жезқазған, Бесоба станцияларында анықталды. Ал қалған 7 метеостанцияның нәтижелері өнімділіктің «қанағаттанарлық» немесе «қанағаттанарлықсыз» деңгейіне сәйкес келді.

#### 4.1.1 MODSNOW V03 моделін валидациялау

Модельді калибрлеу процесі нәтижесінде алынған оңтайлы параметрлерді, калибрлеу кезеңінен тыс кезең үшін, валидациялау қажет, яғни оңтайлы параметрлердің басқа жыл кезеңдерінде қар жамылғысы ылғал қорын модельдеуді тексеру жұмысын жүргізу қажет. Осы мақсатта Есіл сушаруашылығы адабында орналасқан 20 метеорологиялық станциялардың 2000-2021 жж. кезеңі үшін валидация процесі жүргізілді. Сонымен қатар, осы жыл кезеңі үшін эффективтілік көрсеткіштері есептелді (4.4-кесте).

Валидация процесі нәтижесінде есептелген эффективтілік көрсеткіштеріне сәйкес, NSE критерийі бойынша эффективтілік -0,08 – 0,88 аралығында ауытқыса, пайыздық қателік -3,64 % ... +88,6 % диапазонында, стандартты ауытқу коэффициенті 0,35 – 1,04 аралығында ауытқитыны анықталды. Яғни, эффективтіліктің көрсеткіштері өнімділіктің барлық рейтингісіне сәйкес келеді.

Барлық критерийлер бойынша өнімділіктің «жақсы» және «қанағаттанарлық» рейтингісін Благовещенка, Балкашино, Степногорск, Булаево, Сергеевка, Рузаевка, Явленка және Щучинск станциялары көрсетті. Аталған станцияларда NSE тиімділік критерийі 0,68 – 0,88, пайыздық қателік - 3,64 – 39,8 %, стандартты ауытқу коэффициенті 0,35 – 0,56 аралығында ауытқыған.

Калибрлеу процесі кезінде эффективтілік көрсеткіші бойынша өнімділіктің «жақсы» рейтингісін көрсеткен кейбір метеостанциялар (Чкалово, Ақкөл, Ерейментау, Саумалкөл, Тайынша, Тимирязево, Жалтыр) валидация кезеңінде «қанағаттанарлық» немесе «қанағаттанарлықсыз» рейтингісін көрсетті. Яғни бұл метеостанциялардың оңтайлы параметрлері жаңа 2000-2021 жж. кезең үшін қар жамылғысы ылғал қорын модельдеуде сәйкес келмейтіндігін көрсетеді.

Кесте 4.4 – MODSNOW V03 моделі көмегімен қар жамылғысы ылғал қорын 2000-2021 жж. кезеңі үшін валидациялау нәтижелері

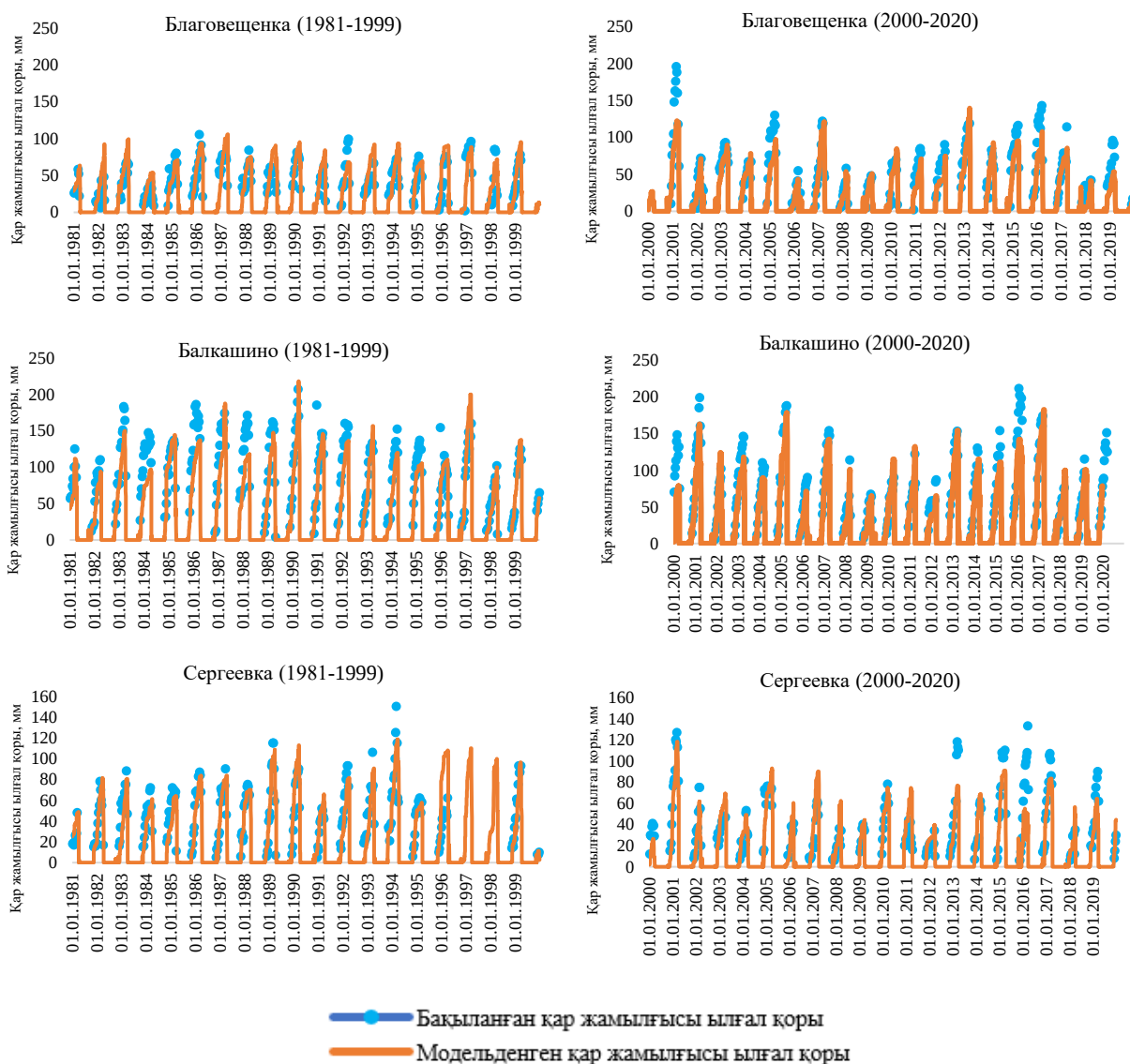
| №  | Метеорологиялық станция | Эффективтілік көрсеткіштері |          |       |      | Параметрлер |                    |                     |
|----|-------------------------|-----------------------------|----------|-------|------|-------------|--------------------|---------------------|
|    |                         | RSR                         | PBIAS, % | NSE   | R    | Tt, °C      | Fdeg, мм/°C күніне | t <sub>0</sub> , °C |
| 1  | Ақкөл                   | 0,77                        | -18,92   | 0,40  | 0,81 | 0.50        | 5.00               | -0.50               |
| 2  | Благовещенка            | 0,51                        | 21,64    | 0,74  | 0,87 | -2.00       | 6.50               | 0.00                |
| 3  | Балкашино               | 0,35                        | 16,25    | 0,88  | 0,95 | 1.00        | 7.00               | 0.00                |
| 4  | Рузаевка                | 0,54                        | 34,66    | 0,71  | 0,88 | 1.00        | 2.00               | -3.50               |
| 5  | Сергеевка               | 0,54                        | 39,83    | 0,70  | 0,92 | -2.50       | 7.00               | 0.00                |
| 6  | Степногорск             | 0,56                        | 13,72    | 0,68  | 0,83 | 1.00        | 4.00               | -2.00               |
| 7  | Явленка                 | 0,48                        | 31,46    | 0,77  | 0,92 | -1.00       | 6.50               | -0.50               |
| 8  | Аршалы                  | 0,74                        | -16,30   | 0,45  | 0,79 | 1.00        | 4.50               | -1.00               |
| 9  | Булаево                 | 0,52                        | -3,64    | 0,73  | 0,87 | 1.00        | 8.00               | 5.00                |
| 10 | Чкалово                 | 0,65                        | 32,18    | 0,58  | 0,79 | 0.50        | 2.00               | -2.00               |
| 11 | Егіндікөл               | 0,70                        | 43,26    | 0,50  | 0,78 | 1.00        | 2.00               | -2.00               |
| 12 | Ерейментау              | 0,80                        | 63,37    | 0,36  | 0,85 | -3.00       | 6.00               | 0.00                |
| 13 | Кішкенекөл              | 0,72                        | 49,34    | 0,48  | 0,80 | 0.00        | 2.00               | -2.50               |
| 14 | Саумалкөл               | 0,61                        | -9,84    | 0,62  | 0,82 | 1.50        | 8.00               | 0.50                |
| 15 | Щучинск                 | 0,53                        | 26,86    | 0,72  | 0,89 | 0.00        | 4.00               | 3.00                |
| 16 | Тайынша                 | 0,65                        | 38,83    | 0,58  | 0,81 | 0.50        | 2.50               | -2.50               |
| 17 | Тимирязево              | 0,59                        | 49,63    | 0,65  | 0,93 | 1.00        | 6.00               | 0.50                |
| 18 | Возвышенка              | 0,68                        | 13,88    | 0,54  | 0,74 | 3.50        | 2.00               | 4.00                |
| 19 | Жақсы                   | 1,04                        | 88,57    | -0,08 | 0,34 | -5.00       | 8.00               | -5.00               |
| 20 | Жалтыр                  | 0,61                        | 15,55    | 0,63  | 0,81 | -3.50       | 3.00               | 0.00                |

MODSNOW V03 моделін Есіл сушаруашылығы алабы үшін калибрлеу кезеңі мен валидация кезеңдері үшін алынған нәтижелерге сәйкес, қар жамылғысы ылғал қорын жақсы модельденетін станциялар таңдалды. Оларға Благовещенка, Балкашино, Сергеевка, Степногорск, Явленка, Рузаевка және Булаево станциялары жатады. Алайда, бұл тізімнен Рузаевка станциясы

шығарылды, себебі физикалық тұрғыдан алапта орналасқан метеостанциялардағы параметрлердің көрсеткіштерімен сәйкес келмейді.

Нәтижесінде өнімділіктің «өте жақсы» және «жақсы» рейтингісіне сәйкес келетін станциялар ретінде келесі 6 метеорологиялық станция қабылданды: Благовещенка, Балкашино, Сергеевка, Степногорск, Явленка, Булаево. Осы станциялардың калибрлеу (1980-1999 жж.) және валидациялау (2000-2021 жж.) кезеңдеріндегі модельдеу нәтижелері 4.2-4.3-суретте көрсетілген.

Қалған 14 метеорологиялық станциялардың қар жамылғысы ылғал қоры мәліметтерінің калибрлеу және валидациялау нәтижелері Г қосымшасының 4.1-кестесінде берілген.



Сурет 4.2 – Есіл сушаруашылығы алабында орналасқан метеорологиялық станциясының қар жамылғысы ылғал қорының калибрлеу (1980-1999) және валидациялау (2000-2021) кезеңдеріндегі бақыланған және модельденген жүрісі



модельдейтіні анықталды, алдын ала бағалаулар бойынша олар бақылау деректерінің қанағаттанарлықсыз сапаларымен байланысты. Бұл процесс әсіресе Ерейментау, Возвышенка және Жақсы станцияларында айқын байқалады.

Жоғарыда көрсетілген метеорологиялық станциялардың модельдері қар жамылғысы ылғал қорын немесе биіктігін қысқа, орта және ұзақ уақытты болжау мақсатында қолдануға болады деген тұжырым қабылданды [164].

**Нұра-Сарысу сушаруашылық алабындағы** метеостанциялардың калибрлеу нәтижесінде оңтайлы танылған станциялардың мәліметтерін тәуелсіз 2000-2020 жж. үшін валидациялау нәтижесі 4.6-кестеде көрсетілген (4.4-сурет).

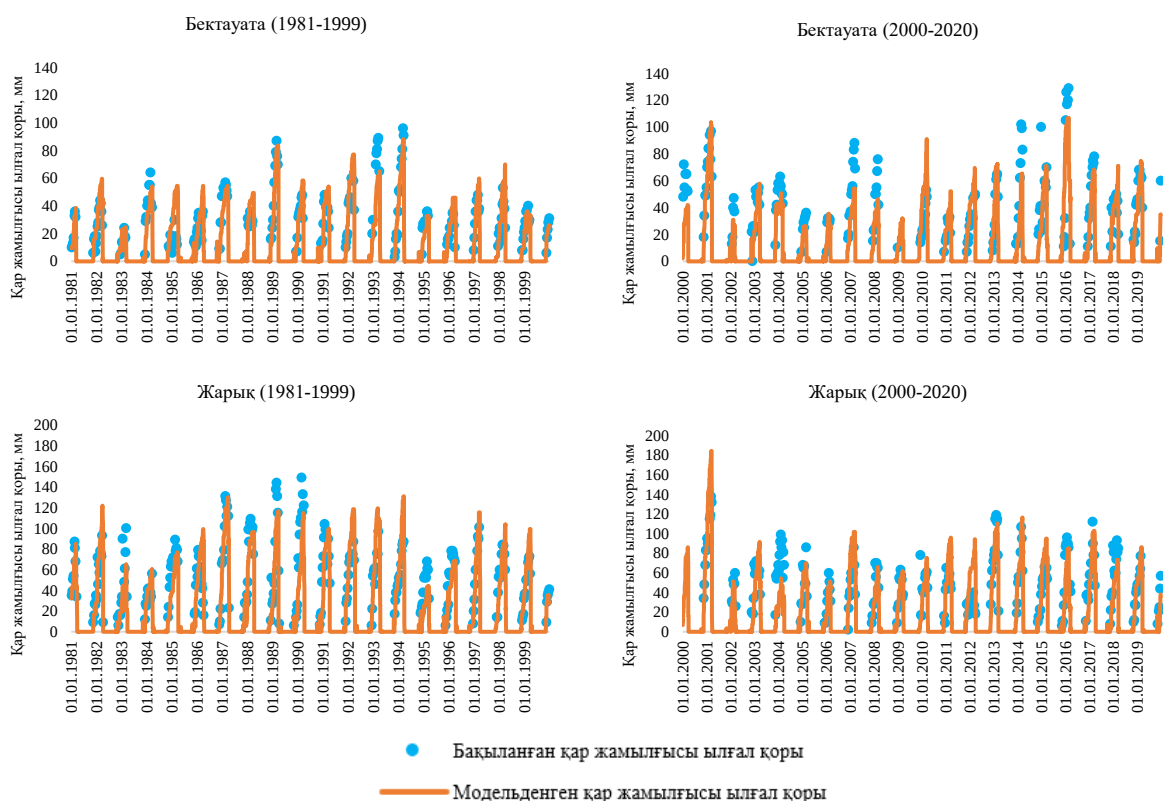
Ақадыр, Ақсу-Аюлы, Бектауата, Жарық, Жезқазған, Бесоба метеостанцияларының қар жамылғысы ылғал қорын валидациялау нәтижесінде эффективтілік көрсеткіштері Ақадыр, Ақсу-Аюлы, Жезқазған және Бесоба станциялары үшін өнімділіктің «қанағаттанарлық» немесе «қанағаттанарлықсыз» деңгейіне сәйкес келетіндігі анықталды, яғни оңтайлы параметрлер тәуелсіз 2000-2020 жж. кезеңі үшін қар жамылғысы ылғал қорын жеткілікті деңгейде шығармайтынын көрсетті.

Кесте 4.6 – MODSNOW V03 моделі көмегімен қар жамылғысы ылғал қорын 2000-2021 жж. кезеңі үшін валидациялау нәтижелері

| №  | Метеорологиялық станция | Эффективтілік көрсеткіштері |          |       |      | Параметрлер |                    |        |
|----|-------------------------|-----------------------------|----------|-------|------|-------------|--------------------|--------|
|    |                         | RSR                         | PBIAS, % | NSE   | R    | Tt, °C      | Fdeg, мм/°C күніне | to, °C |
| 1  | Ақадыр                  | 0.70                        | 55.15    | 0.50  | 0.86 | -0.5        | 7.5                | -1.0   |
| 2  | Ақсу-Аюлы               | 0.63                        | 50.29    | 0.60  | 0.91 | -1.5        | 6.0                | -1.5   |
| 3  | Ақтоғай                 | 0.89                        | 71.57    | 0.21  | 0.82 | 1.5         | 7.0                | 1.5    |
| 4  | Бектауата               | 0.46                        | 15.23    | 0.78  | 0.89 | -2.0        | 6.0                | 0.0    |
| 5  | Жаңаарқа                | 0.56                        | 7.80     | 0.69  | 0.84 | -1.0        | 2.0                | -1.5   |
| 6  | Жетқоңыр                | 1.78                        | -171.89  | -2.17 | 0.53 | 2.0         | 2.0                | 5.0    |
| 7  | Корнеевка               | 0.71                        | 33.86    | 0.49  | 0.75 | -4.0        | 8.0                | -1.5   |
| 8  | Қарағанды               | 0.43                        | 26.26    | 0.82  | 0.93 | 0.5         | 3.0                | -2.0   |
| 9  | Құлжамбай               | 0.57                        | 33.84    | 0.68  | 0.86 | 1.0         | 6.5                | 0.0    |
| 10 | Жарық                   | 0.46                        | 29.50    | 0.79  | 0.92 | -0.5        | 4.5                | -1.5   |
| 11 | Жезқазған               | 0.60                        | 42.32    | 0.64  | 0.86 | -1.0        | 4.0                | -2.0   |
| 12 | Бесоба                  | 0.65                        | 35.73    | 0.58  | 0.80 | -1.0        | 5.5                | -1.5   |
| 13 | Родниковское            | 0.77                        | 3.07     | 0.41  | 0.65 | 3.5         | 2.0                | 5.0    |

Валидациялау нәтижесінде өнімділіктің «өте жақсы» деңгейін Бектауата MC көрсетті, яғни RSR көрсеткіші 0,46 құраса, NSE критерийі мен корреляция коэффициенті сәйкесінше 0,78 және 0,89 тең болды, ал пайыздық ауытқу көрсеткіші 15 % құрайтындығы анықталды. Сонымен қатар, алаптағы Жарық MC RSR (0,46), NSE (0,79), R (0,92) көрсеткіштерінің «өте жақсы» деңгейіне

сәйкес келгендігін, ал пайыздық PBIAS ауытқуының 29,5 % көрсетті. Берілген төрт көрсеткіштің 3-уі өнімділіктің «өте жақсы» деңгейіне сәйкес келгендіктен, Жарық станциясының нәтижесі «жақсы» өнімділік деңгейіне сәйкестендірілді.



Сурет 4.4 – Нұра-Сарысу сушаруашылық алабы метеорологиялық станцияларының қар жамылғысы ылғал қорының калибрлеу (1980-1999) және валидациялау (2000-2021) кезеңдеріндегі бақыланған және модельденген жүрісі

Осылайша, Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында калибрлеуден тәуелсіз 2000-2020 жж. кезеңінде валидациялау нәтижесінде өнімділіктің «өте жақсы», «жақсы» деңгейіне сәйкес келген Бектауата және Жарық станцияларын қар жамылғысы ылғал қорын немесе биіктігін қысқа, орта және ұзақ уақытты болжау мақсатында қолдануға болады деген тұжырым қабылданды.

#### 4.2 Қар жамылғысы ылғал қорының перспективалық болжамы

Қазіргі таңда көптеген зерттеулер климаттың күтілетін өзгерістерінің салдарын зерттеуге бағытталған. Олардың негізінде жаһандық немесе аймақтық гидродинамикалық модельдердің көмегімен алынған климаттық проекцияларды қолдана отырып, табиғи және әлеуметтік-экономикалық климатқа тәуелді процестер мен объектілерді модельдеу жатыр.

Барлық гидродинамикалық модельдер мен оларға әсер етуші факторлар бойынша болжамды есептеулердің белгісіздігі туралы мәселе өзекті болып табылады. Мұндағы белгісіздік климаттық проекцияларды қолдана отырып, әртүрлі модельдер бойынша есептеулерде қабылданған бағалаулардың

диапазонын білдіреді. Өз кезегінде белгісіздік мәселесінің өзектілігі экономиканың әртүрлі салаларында климаттың өзгеруіне бейімделу үшін экономикалық және саяси шешімдер қабылдау қажеттілігімен байланысты туындайтыны сөзсіз.

Тиімді алдын-ала бейімделу, егер тиісті салдарларды бағалаудың белгісіздігі тым үлкен болмаса ғана мүмкін болады. Басқа жағдайда қате стратегиялар қабылдануы мүмкін, олардың зияны климаттық әсерлердің өздеріне байланысты шығындардың асып түсуіне алып келетіндігі мәлім. Сондықтан климаттың өзгеруі салдарының белгісіздік бағалаулары гидродинамикалық модельдердің, сонымен бірге есептеулерде қолданылатын климаттық проекциялардың қателігіне де байланысты.

Мұндай қателіктерді азайту мақсатында көптеген модельдерді өзара бір-бірімен бірдей уақыт кезеңдері үшін салыстыру жұмыстары жүргізіледі. Сонымен бірге әрбір жаһандық модельдің аймақтық қателіктерін төмендету мақсатында статистикалық түзетулер масштабы кішірейту (downscaling) мақсатында енгізіледі. Масштабты кішірейту процесі жергілікті аймақтың мәліметтері негізінде жүргізіледі. Алайда, жаһандық модельдерде жаһандық климаттық мұрағаты – реанализ мәліметтері негізінде жүргізіледі.

Үкіметаралық климаттың өзгеруі бойынша сарапшылар тобының төртінші «Бағалау баяндамаларында» жаһандық модельдер континенттің ауа температурасын қанағаттанарлық түрде шығаратындығы мәлімделді. Алайда климаттың өзгеруін кеңістіктік таралу масштабында аудандастыру немесе жалпы кеңістіктік тұрғысынан қарастыру дұрыстығы көрсетіледі.

Бүгінгі таңда климаттың ықтимал өзгеруін перспективаға бағалаудың негізгі және ең қолайлы құралы ретінде жаһандық климат модельдерінің заманауи нұсқалары қолданылады. Сондай ақ модельдер ауа райы мен климаттың ұзақ мерзімді болжамдарын дайындауда жедел мақсаттарда қолданылады.

«Климатты перспективалық бағалау» термині климаттық жүйенің болашақта ықтимал шығарындылар немесе парниктік газдар (ПГ) мен табиғи және антропогендік сипаттағы аэрозольдердің концентрациясы сценарийіне модельденген реакциясын білдіретіндігі климаттың өзгеруіне әсерді азайту туралы IPCC есебінде алғаш рет қолданылған [165].

Көптеген жұмыстар климаттық модельдердің климатты модельдеу және түсіну құралы ретіндегі ерекше маңыздылығын растайды және олардың болашақ климаттың өзгеруіне сенімді сандық баға беру қабілетін сенімді түрде растайды [166]. Бұл сенімділік модельдердің жалпы қабылданған физикалық принциптерге негізделгендігімен, сондай-ақ олардың қазіргі климаттың және өткен климаттың өзгеруінің байқалған ерекшеліктерін қайталау қабілетімен аяқталады. Бірақ сонымен бірге Климаттық модельдер әлі де айтарлықтай шектеулерге ие. Мысалы, бұлттардың параметрленуіндегі шектеулер, олардың болжамды шамалары мен аймақтық Климаттық сипаттамалардың өзгеруіне әкелуі мүмкін [167]. Дегенмен, бірнеше онжылдықтар ішінде модельдердің

дамуы парниктік газдардың көбеюіне жауап ретінде климаттың айтарлықтай жылынуының сенімді және бір мәнді көрінісін береді.

Ең жан-жақты климаттық модельдер – атмосфера мен мұхиттардың жалпы айналымының модельдері. Олар атмосфералық, Мұхиттық және жердегі процестерді, сондай-ақ теңіз мұзын және жер жүйесінің басқа компоненттерін сипаттайтын динамикалық компоненттерді қамтиды. Дүниежүзілік климатты зерттеу бағдарламасының (WCRP) біріктірілген модельдерді салыстыру жобасы (CMIP) халықаралық климатты зерттеудің іргелі негізі болып табылады және атмосфера мен мұхиттардың жалпы айналымының модельдері негізіндегі климатты модельдеу бойынша ұқсас эксперименттер жүргізетін ондаған орталықтардың қызметін техникалық және ғылыми үйлестіруді қамтамасыз етеді [168].

CMIP бірнеше кезеңдерде орындалады және IPCC есептерінде шешуші рөл атқарады. Қазіргі уақытта CMIP алтыншы фазада жүзеге асырылған [169]. CMIP6 модельдері физикалық, химиялық және биологиялық процестердің жаңа және жақсырақ көрінісін, сондай-ақ IPCC-тің алдыңғы бағалау есептерінде қарастырылған Климаттық модельдермен салыстырғанда жоғары ажыратымдылықты қамтиды.

IPCC-тің алтыншы бағалау есебі қарсаңында энергетикалық модельдеу мамандарының қауымдастығы XXI ғасырда әлеуметтік-экономикалық жүйелердің қалай дамуы мүмкін екендігі туралы әртүрлі болжамдарға негізделген шығарындылар сценарийлерінің жаңа жиынтығын әзірледі. Бұл – «жалпы әлеуметтік-экономикалық жолдар» (Social-economic Pathways (SSP)). CMIP6 негізін жалпы әлеуметтік-экономикалық сценарийлерге (Social-economic Pathways – ssps) негізделген бес жоғары басымдықты сценарийлерді ескере отырып, Климаттық есептеулер құрады: SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5 [170]. SSP 2100 жылға дейінгі ықтимал шығарындылардың кең ауқымын қамтиды, соның ішінде климаттың өзгеруін тежеу үшін ешқандай шара қолданбай CO<sub>2</sub> жоғары сценарийлері, сондай-ақ CO<sub>2</sub> төмен шығарындылары ғасырдың ортасында CO<sub>2</sub> нөлдік шығарындыларымен қол жеткізіледі.

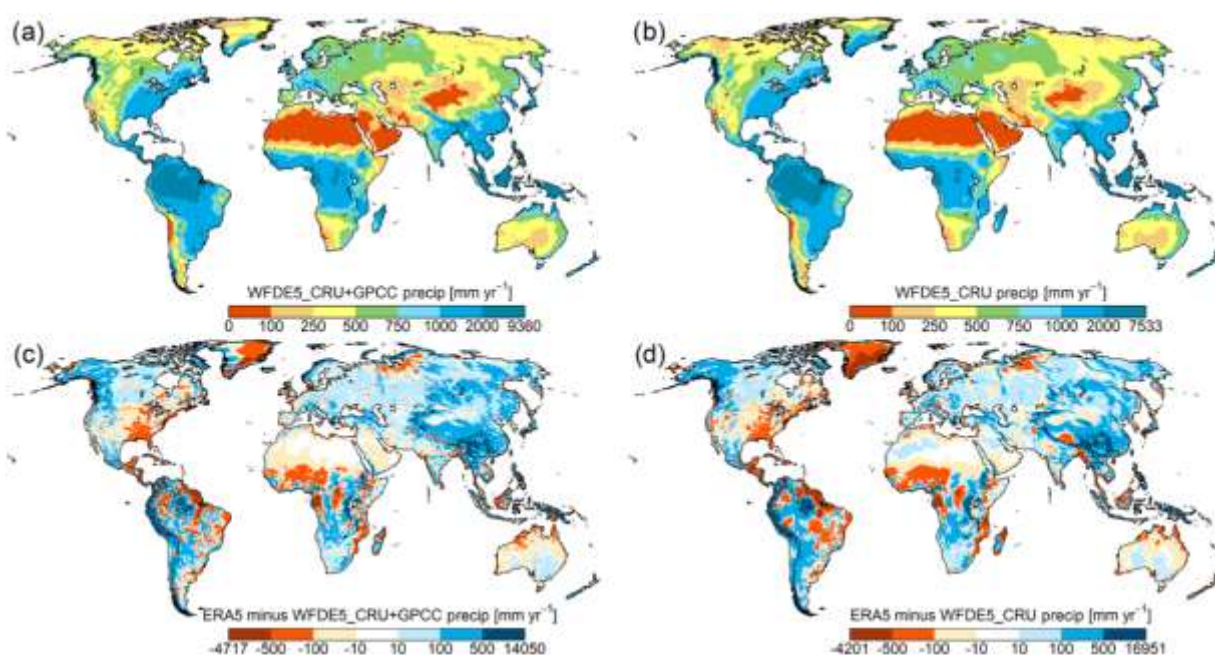
Сонымен бірге, IPCC-тің алтыншы бағалау есебінде ауа температурасы, атмосфералық қысым, модельдердің соңғы үш буынының жауын-шашын мөлшері сияқты Климаттық айнымалыларды модельдеу нәтижелерін салыстыру келтірілген (2008, 2013 және 2021 қол жетімді). 41-суретте имитацияланған және бақыланатын мәндер арасындағы корреляция көрсетілген, мұнда 1,0 тамаша сәйкестікке сәйкес келеді. Жаңа буынның көптеген жеке модельдері айтарлықтай жақсы жұмыс істейді, бұл 1,0-ге тартылатын корреляция мәндерінің диапазонымен көрсетілген. Модельдердің әрбір кейінгі буыны алдыңғы ұрпақтардан асып түседі.

**Зерттеу жұмысында** қар жамылғысы ылғал қорының болашақ өзгерістерінің динамикасын бағалау үшін кіріс деректері ретінде Сектораралық әсер ету модельдерін өзара салыстыру жобасының (ISIMIP) үлгілерді бірлескен салыстыру жобасының 6-фазасының (CMIP6) нәтижелері негізінде ғасырдың

соңына дейінгі климаттық деректер «жалпы әлеуметтік-экономикалық жолдарының» SSP1-2.6 «Тұрақты даму (жасыл жолды таңдау)» және SSP5-8.5 «Қазба отынымен игеру (мақсатқа жету жолында)» сценарийлері пайдаланылды [169].

ISIMIP сектораралық әсер ету модельдерін өзара салыстыру жобасы климаттық және әлеуметтік-экономикалық әсер ету жөніндегі деректер жиынтығын әзірлеп, ұсынады, сонымен бірге модельдің нәтижелерін бақылайды. Кіріс деректерінен басқа, ISIMIP әртүрлі масштабта климаттың әсер етуі мен климаттық әсерлерді экономиканың өзге салаларына бағалауын біріктіретін модельдеудің ортақ хаттамаларды ұсынады. Осыған сүйене отырып, ISIMIP жаһандық және аймақтық тәуекелдерді басқаруды жақсартуға ықпал ете отырып, климаттың өзгеру қаупі туралы білімді кеңейтеді.

ISIMIP3b жобасында масштабты кішірейту мен ығысуды статистикалық түзету мақсатында ERA5 реанализімен біріктірілген WFDE5 Overland 2.0 (4.5-сурет) нұсқасы қолданылған. Бұл деректер жиынтығы 1979-2019 жылдарды күнделікті уақыт ажыратымдылығымен және бүкіл жер шарын  $0,5^\circ$  кеңістіктік ажыратымдылықпен қамтиды. W5E5 деректер көздері ERA5 деректеріне қолданылатын Watch Forcing data әдіснамасының 2.0 нұсқалары болып табылады [171], ERA 5 қайта талдау деректері [172] және жауын-шашын климатологиясының жаһандық жобасының 2.3 нұсқасындағы жауын-шашын туралы мәліметтер [173].



Сурет 4.5 – Ұзақ мерзімді (1979-2016) (a) WFDE5\_CRU+GPCC үшін абсолютті мәні, (b) WFDE5\_CRU, (c) ERA5 пен WFDE5\_CRU+GPCC арасындағы айырмашылық және (d) ERA5 пен WFDE5\_CRU арасындағы айырмашылық ретінде есептелген жауын-шашын мөлшерінің мәндері. Барлық мәндер мм/жыл есептелген [171]

*Климаттық модельді таңдау.* CMIP6 тәжірибелерінде ISIMIP3B piControl тарихи SSP126, SSP370 және SSP585-те қолданылады. ISIMIP3b-ге қосылу үшін климаттық модель Huss (қажет емес), ps (егер ps1 қол жетімді болса) және sfcwind (егер uas және Vas қол жетімді болса) қоспағанда, барлық айнымалылар бойынша күнделікті деректерді piControl-да кем дегенде 250 жыл және тарихтағы барлық жылдарды (1850-2014), SSP126, SSP370 және SSP585 (2015-2100) қамтиды.

Бес негізгі модель жақсы таңдау болып табылады, өйткені олар мұхит пен атмосфера моделінің компоненттері тұрғысынан құрылымдық жағынан тәуелсіз, сонымен қатар crescendo жобасының сарапшылары арасындағы бейресми сауалнамаға сәйкес, олардың процесті ұсынуы әділ (IPSL-CM6A-LR, MPIESM1-2-HR), жақсы (GFDL-ESM4, MRI-ESM2-0, UKESM1-0-LL). Климатқа сезімталдық тұрғысынан (36-сурет) бес негізгі модель бүкіл CMIP6 ансамблінің жақсы өкілдері болып табылады, өйткені олар климатқа сезімталдығы төмен үш модельді (GFDL-ESM4, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0) және климатқа сезімталдығы жоғары екі модельді (IPSLCM6, ALR, UKESM1-0-LL) қамтиды. Сонымен қатар, үш модель (GFDL ESM 4, IPSLCM6 ALR, UKESM1-0-LL) isimp2b және ASI IP Fast Track-те қолданылатын модельдердің ізбасарлары болып табылады, бұл бақылау тұрғысынан тиімді (4.6-сурет).

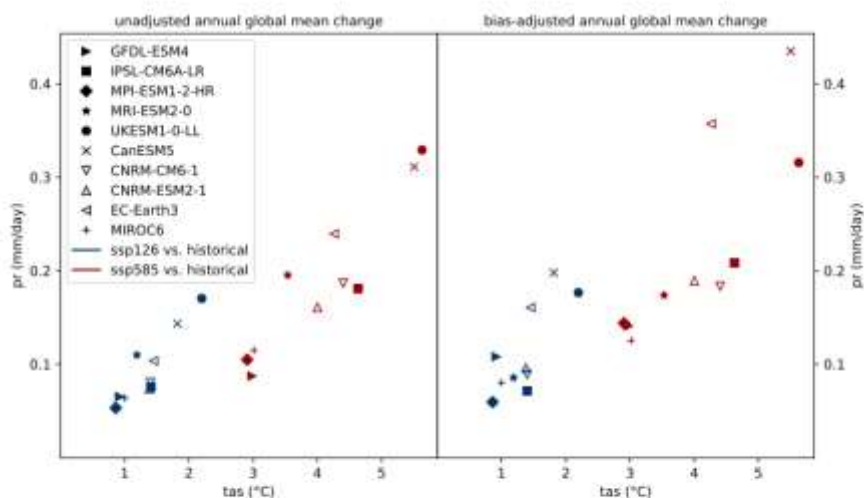


Figure 8: Projected change in annual global mean precipitation versus temperature computed based on unadjusted (left) and bias-adjusted (right) CMIP6 data. Results for different climate models are indicated with different symbols. For the primary models, these symbols are filled. Results for different future greenhouse gas emissions scenarios are indicated with different colors. Changes are computed as the difference between 30-year mean values (2071–2100 versus 1985–2014).

#### Сурет 4.6 – ISIMIP жобасына кіретін модельдер [171]

ISIMIP жобасындағы мәліметтер базасының Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптарында қар жамылғысы ылғал қорының болашақтағы өзгеру динамикасын бағалау мақсатында жобаға енген 5 модельдің мәліметтерін қолдану мақсатында, яғни климаттың өзгеруін бағалаудың

сенімділігі – климаттың нақты модельдерін негіздеу және таңдау және оларды зерттелетін аумаққа тексеру, алынған климат сипаттамалары мен анықталған тенденциялардың сенімділігін бағалау мақсатында, проекциялар негізделген WFDE5 реанализ мәліметтеріне «Қазгидромет» бақылау желісі мәліметтерімен верификация жасалды.

Реанализ деректерін тексеру маңызды міндет болып табылады, өйткені олардың зерттелетін аумаққа қолданылуын тексеру қажет, яғни бұл деректер нақты қарастырылып отырған аумақтағы климат пен оның өзгергіштігін қаншалықты жақсы сипаттайтынын бағалау қажет. Ол үшін талдау деректерін салыстыру арқылы жер бетіндегі бақылау деректерімен салыстыру қажет. Деректерді салыстыру әдістемесі бақылаулардың тек біртекті қатарларын таңдауды және қолдануды, зерттеудің бүкіл аралығындағы салыстырылған деректер қатарларының айырмашылықтарын бағалау үшін сыналған статистикалық әдістерді қолдануды қамтамасыз етеді.

Бұл зерттеуде деректерді тексеру үшін жер бетіндегі ауа температурасының орташа айлық, жылдық орташа мәндерін, жауын-шашын мөлшерін бағалау үшін тиімділіктің бес көрсеткіші пайдаланылды: корреляция коэффициенті:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2)(\sum(y_i - \bar{y})^2)}} \quad (4.5)$$

Nash-Sutcliffe тиімділігін бағалау критерийі:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_1^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_1^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2}, \quad (4.6)$$

нормаланған қателік:

$$NBIAS = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{\bar{x}_{reanalysis}(t) - \bar{x}_{AWS}(t)}{\bar{y}_{AWS}}, \quad (4.7)$$

қалыпты орташа абсолютті қателік:

$$NMAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{\bar{x}_{reanalysis}(t) - \bar{x}_{AWS}(t)}{\bar{y}_{AWS}} \right| \quad (4.8)$$

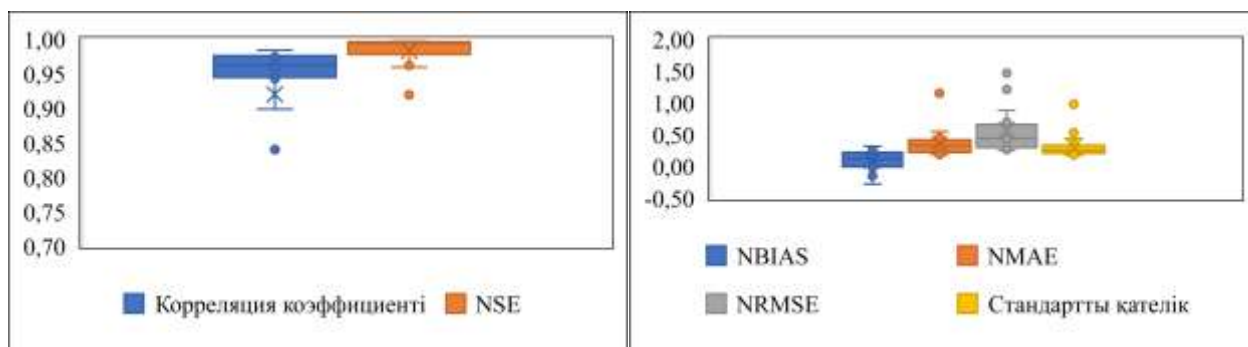
және нормаланған орташа квадраттық қателік бір статистикалық көрсеткішке төмен корреляция мен жоғары орын ауыстыру қателерін тиімді біріктіретін көрсеткіш [174]:

$$NRMSE = \sqrt{\left( \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{\bar{x}_{reanalysis}(t) - \bar{x}_{AWS}(t)}{\bar{y}_{AWS}} \right)^2}, \quad (4.9)$$

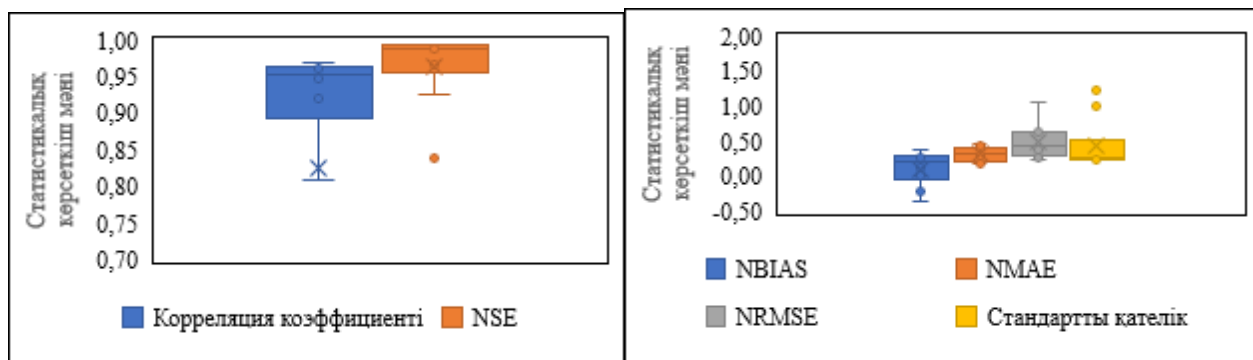
Реанализ деректерінің бірқатар артықшылықтары бар, олардың негізгілері – бос орындардың болмауы, қатарлардың біркелкілігі, аумақты біркелкі және толық қамту, дерекқорларға еркін қол жеткізу болып табылады.

Верификация жер беті бақылау желісі орналасқан тор түйініндегі реанализ мәліметтері мен метеорологиялық станцияның бақылау мәліметтерімен жүргізілді (4.7-4.8 сурет).

Есіл сушаруашылық алабындағы метеорологиялық станциялардың реанализ мәліметтерімен салыстыру барысында статистикалық бағалау көрсеткіштерінің нәтижелері корреляция коэффициенті бойынша өнімділіктің «жақсы», «өте жақсы» деңгейлерін көрсетті, орташа алаптық мәні – 0,92 құрады. Nash-Sutcliffe тиімділігін бағалау критерийі орташа алап үшін – 0,98 көрсетсе, пайыздық NBIAS көрсеткіші жалпы алап үшін – 9 % қателікке ие болғандығын көрсетті. Сонымен қатар, қалыпты орташа абсолютті қателік 0,36, ал нормаланған орташа квадраттық қателік 0,58, стандартты қателік – 0,31 құрады. Көрсеткіштердің алынған нәтижелері WFDE5 реанализінің Есіл сушаруашылық алабы үшін ауа температурасы мәліметін жақсы өнімділікпен шығаратыны анықталды.



Сурет 4.7 – Есіл су шарушылық алабындағы ауа температурасының WFDE5 реанализ мәліметтерімен салыстыру нәтижесі

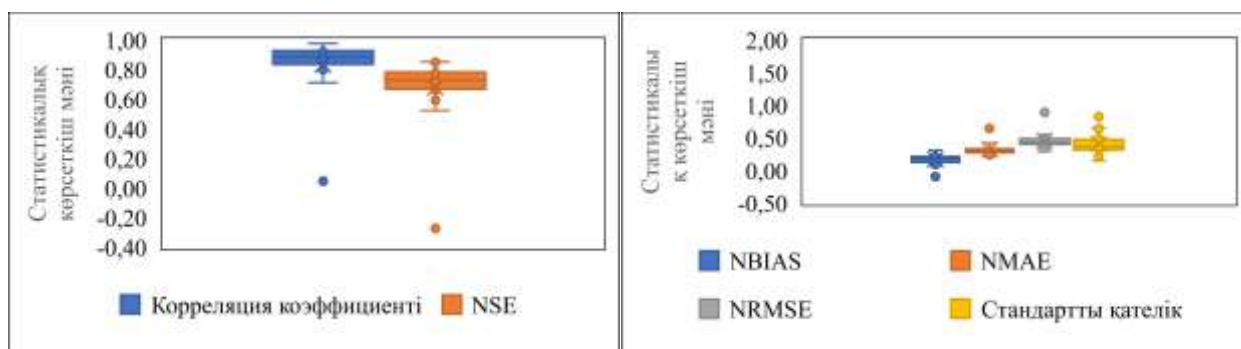


Сурет 4.8 – Нұра-Сарысу су шарушылық алабындағы ауа температурасының WFDE5 реанализ мәліметтерімен салыстыру нәтижесі

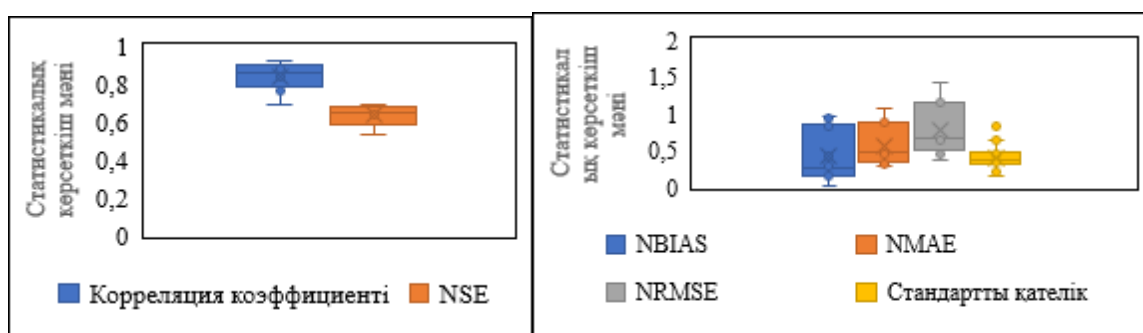
Нұра-Сарысу сушаруашылық алабындағы метеорологиялық станциялардың ауа темепературасының реанализ мәліметтерімен (38-сурет)

салыстыру барысында статистикалық бағалау көрсеткіштерінің нәтижелері өнімділіктің «жақсы», «өте жақсы» деңгейлерін көрсетті. Жалпы алаптық корреляция коэффициенті «жақсы» нәтиже көрсетсе, Nash-Sutcliffe тиімділігін бағалау критерийі орташа алап үшін – 0,96 көрсетті. Ал пайыздық NBIAS көрсеткіші жалпы алап үшін – 11 % қателікке ие болғандығын және қалыпты орташа абсолютті қателік 0,32, ал нормаланған орташа квадраттық қателік 0,49, стандартты қателік – 0,44 құрады. Көрсеткіштердің алынған нәтижелері WFDE5 реанализінің Нұра-Сарысу сушаруашылық алабы үшін де ауа температурасы мәліметін жақсы өнімділікпен шығаратыны анықталды

Есіл сушаруашылық алабында жауын-шашын мөлшерінің мәліметтерін (4.9-сурет) верификациялау нәтижесінде статистикалық көрсеткіштердің бағалаулары реанализ мәліметтері жалпы алап үшін және барлық станциялар үшін өнімділіктің «жақсы» деңгейін көрсеткендігі анықталды. Алайда, Благовещенка және Жақсы станциялары үшін WFDE5 реанализі жауын-шашын мөлшерін «қанағаттанарлықсыз» деңгейде бағалайтындығы анықталды.



Сурет 4.9 – Есіл су шаруашылық алабындағы жауын-шашын мөлшерінің WFDE5 реанализ мәліметтерімен салыстыру нәтижесі



Сурет 4.10 – Нұра-Сарысу су шаруашылық алабындағы жауын-шашын мөлшерінің WFDE5 реанализ мәліметтерімен салыстыру нәтижесі

WFDE5 реанализі Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында жауын-шашын мөлшерін жалпы алап үшін өнімділіктің «жақсы» деңгейінде шығаратыны анықталды. Алайда, кейбір станциялар үшін (Жаңаарқа, Жезқазған, Ақсу-Аюлы, Бесоба) өнімділіктің «қанағаттанарлық» деңгейінде шығаратыны

анықталды. Осылайша, жалпы алап үшін корреляция коэффициенті 0,84, Nash-Sutcliffe тиімділігін бағалау критерийі 0,63 тең болды. Нормаланған жауын-шашын мөлшерінің қателігі 36 % құрады (4.10-сурет).

WFDE5 реанализінің ауа температурасы мәліметтері Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптары үшін өнімділіктің жоғары деңгейіне сәйкес келгендіктен, олардың мәліметтерін зерттеу мақсатында қолдануға болатындығы анықталды. Ал, жауын-шашын мөлшерінің мәліметтері кейбір метеорологиялық станциялар үшін өнімділіктің «қанағаттанарлық» деңгейіне сәйкес келуіне байланысты, реанализ мәліметтерінің статистикалық көрсеткіші нәтижесіне қарай қолданылу мүмкіндігі анықталды.

Осылайша, WFDE5 реанализінің мәліметтерін әрі қарай зерттеу жұмысы барысында қолдануға болатындығына көз жеткізілді. Өз кезегінде ISIMIP жобасының мәліметтері WFDE5 мәліметтеріне негізделі отырып, жасалғандығын, сонымен қатар, проекция мәліметтері масштабы кішірейту процесін өткергендігін ескерсек, климаттың болашаққа арналған проекция мәліметтерін Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптары үшін қолдануға болатындығы анықталды.

Әрі қарай қар жамылғысы ылғал қорының болашақтағы өзгеру динамикасын анықтау мақсатында ISIMIP проекциясына кіретін негізгі 5 модельдің (GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0, UKESM1-0-LL) мәліметтері қолданылды.

Берілген модельдердің сандық болжамдық шектеулері ансамбльдік тәсілдің көмегімен шешілуі мүмкін. Ансамбльдік болжам – ықтималдық болжамдарын жасау үшін атмосфералық процесстерді гидродинамикалық модельдеудің дәлсіздігін ескере алатын қазіргі таңда кең қолданылатын әдіс. Яғни, климатты болжаудың ансамбльдік әдісі гидродинамикалық модельдердің бірнеше нәтижелерін қолданылу арқылы жүзеге асырылады [175].

Алгоритмдік тұрғыдан ансамбльдік орташалау әдісі – кеңістіктік тордың әр ұяшығында қарастырылып отырған шаманың қасиеттерін сипаттайтын параметрлердің орташа мәндерінің айналасында өзгертін әртүрлі комбинациялары бар бірнеше есептеулер жүргізіледі.

Климатологияда ансамбль әдісінің артықшылықтары соншалықты үлкен және даусыз болып шықты, себебі қазіргі таңда жеке модельдер болжам жасау үшін өте сирек қолданылады, ал егер мұндай жағдай орын алатын болса, мұндай болжамдар сенімсіз болып саналады.

Қазіргі таңда ансамбльдік болжамның әдістері климаттың әсер етуі салаларында, яғни климаттың әсерін модельдеуде және шешім қабылдау бойынша көптеген зерттеулерде кеңінен қолданылады [176].

Берілген зерттеу жұмысында модельдердің сандық болжамдық шектеулерін азайту мақсатында, сонымен бірге қар жамылғысы ылғал қорына климаттың әсер етуін зерттеу мақсатында ISIMIP проекциясына кіретін модельдердің көмегімен ансамбльдік болжам әдісі қолданылды.

Модельдеу нәтижесінде алынған болжамды қар жамылғысы ылғал қоры мәліметтерін бақылау мәліметтеріне келтіру мақсатында нормалау әдісі

бойынша жыл сайынғы ылғал қоры есептелді. Ол үшін болжанған ылғал қоры мәні ( $SWE_i$ ) келесі 4.10-теңдеудің көмегімен анықталды:

$$SWE_i = SWE_{opt} + \alpha * \sigma \quad (4.10)$$

мұндағы,  $SWE_{opt}$  – бақылау мәліметтерінің орташа мәні,  $\alpha$  – нормалау параметрі,  $\sigma$  – бақылау мәліметтерінің орташа квадраттық ауытқуы

$$\alpha = \left( \frac{SWE_{i_{sim}} - SWE_{opt_{sim}}}{\sigma_{sim}} \right) \quad (4.11)$$

мұндағы,  $SWE_{i_{sim}}$  – белгілі бір жылдың модельденген қар жамылғысы ылғал қоры,  $SWE_{opt_{sim}}$  – модельденген қар жамылғысы ылғал қорының орташа мәні,  $\sigma_{sim}$  – модельденген қар жамылғысы ылғал қорының орташа уадраттық ауытқуы.

Нормалау әдісі ең алдымен 1980-2020 жж. кезеңі үшін есептеліп, верификация жасалды. Яғни, алдымен аталған жыл кезеңдері үшін модель мәліметтері мен бақылау мәліметтері негізінде нормалау параметрі анықталды. Әрбір жылдың нормаланған параметрін қолдана отырып, нормаланған қар жамылғысы мәліметтері алынды. Нәтижесінде, 1980-2020 жж. қар жамылғысы ылғал қорының бақылау мәліметтері мен нормаланған болжамды қар жамылғысы ылғал қоры мәліметтерінің орташа көпжылдық және орташа квадраттық ауытқу мәндері өзара тең болды.

Әрі қарай 2023-2100 жж. кезеңіндегі әрбір жылдың нормалау параметрі болжанған ылғал қоры мен болжанған орташа ылғал қоры айырмашылығының оның орташа квадраттық ауытқуына қатынасы ретінде анықталды. Нормаланған ылғал қоры бақыланған орташа ылғал қорының нормалау параметрі мен орташа квадраттық ауытқу мәндерінің көбейтіндісінің қосындысы арқылы анықталды.

Осылайша нормалау әдісін қолдана отырып, әрбір модельдің және ансамбльдік болжанған қар жамылғысы ылғал қоры мәліметтерін нормалау параметрі көмегімен нормаланған болжамды қар жамылғысы ылғал қоры анықталды.

Есіл сушаруашылығы алабындағы метеорологиялық станциялардағы қар жамылғысы ылғал қорының SSP1-2.6, SSP5-8.5 сценарийлері бойынша 2050, 2100 жылға дейін өзгеруінің нәтижелері 4.7-кестеде көрсетілген.

Кесте 4.7 – Есіл сушаруашылығы алабындағы метеорологиялық станциялардағы қар жамылғысы ылғал қорының SSP1-2.6, SSP5-8.5 сценарийлері бойынша 2050, 2100 жылға дейін өзгеруі, %

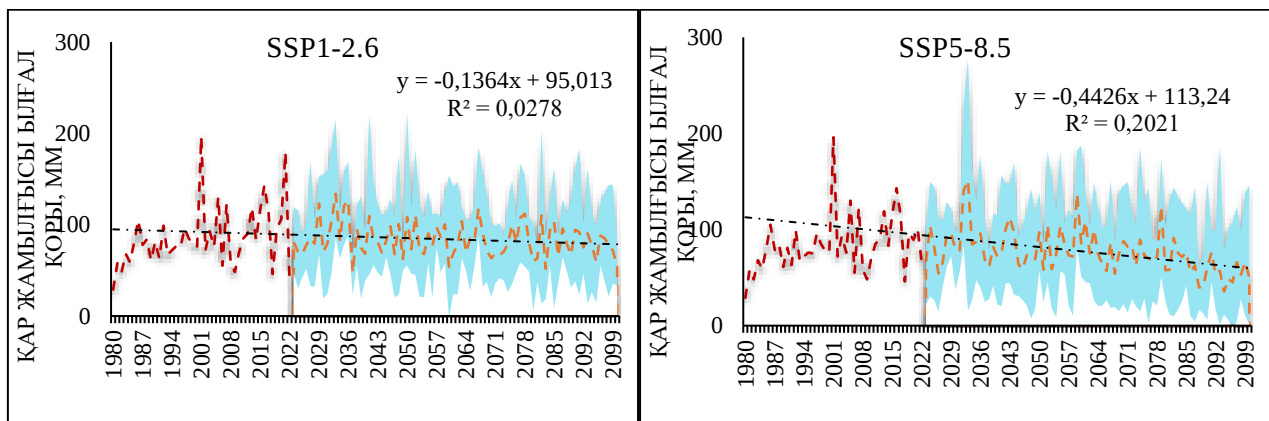
| № | Метеорологиялық станция | N <sub>SWE</sub> 1980-2020, мм | SSP1-2.6           |                    | SSP5-8.5           |                    |
|---|-------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   |                         |                                | 2050               | 2100               | 2050               | 2100               |
| 1 | Благовещенка            | 83,8                           | <u>68,6</u><br>-18 | <u>62,5</u><br>-25 | <u>71,4</u><br>-15 | <u>47,6</u><br>-43 |

## 4.7 кестенің жалғасы

| №                                                                                                                                                     | Метеорологиялық станция | N <sub>SWE</sub> 1980-2020, мм | SSP1-2.6           |                    | SSP5-8.5            |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|                                                                                                                                                       |                         |                                | 2050               | 2100               | 2050                | 2100               |
| 2                                                                                                                                                     | Балкашино               | 138,7                          | <u>148,2</u><br>+7 | <u>133,6</u><br>-4 | <u>121,7</u><br>-12 | <u>74,5</u><br>-46 |
| 3                                                                                                                                                     | Сергеевка               | 75,3                           | <u>56,5</u><br>-25 | <u>57,7</u><br>-23 | <u>57,4</u><br>-24  | <u>45,6</u><br>-39 |
| 4                                                                                                                                                     | Степногорск             | 56,5                           | <u>37,5</u><br>-34 | <u>29,1</u><br>-48 | <u>40,9</u><br>-28  | <u>25,0</u><br>-56 |
| 5                                                                                                                                                     | Явленка                 | 73,7                           | 80,4<br>+9         | 67,2<br>-9         | 80,9<br>+10         | 57,3<br>-22        |
| 6                                                                                                                                                     | Булаево                 | 84,3                           | <u>92,4</u><br>+10 | <u>84,1</u><br>0   | <u>92,0</u><br>+9   | <u>82,8</u><br>-2  |
| *Ескерту: <u>68,6</u> бөлшектің алымында болжамды ылғал қоры мәні (мм)<br>-18 бөлшектің бөлімінде көпжылдық нормасына қатысты %-дық өзгеру көрсеткіші |                         |                                |                    |                    |                     |                    |

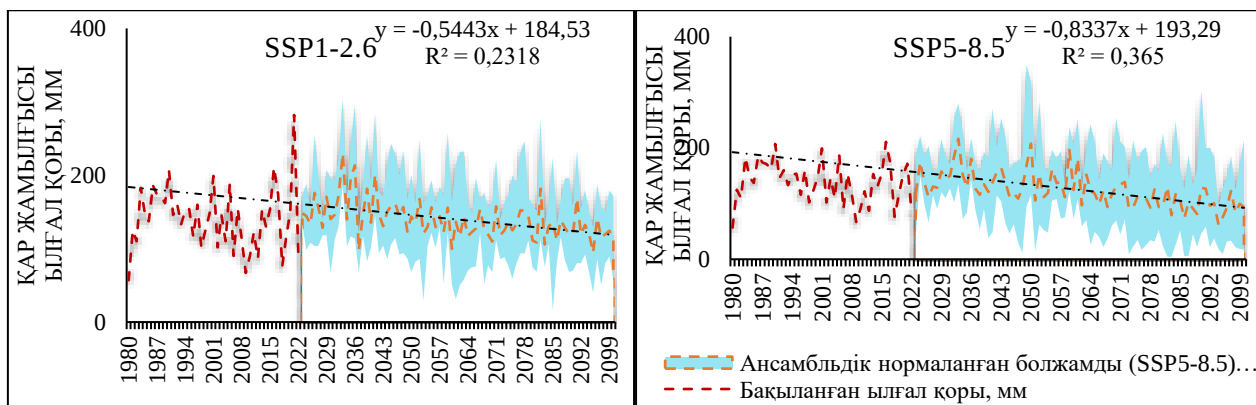
Ансамбльдік болжам нәтижесінде Есіл сушаруашылық алабындағы станцияларда қар жамылғысы ылғал қоры келесідей өзгеруі күтілуде:

Благовещенка станциясында SSP1-2.6 сценарийі бойынша қар жамылғысы ылғал қоры 2050 ж. орташа мәні 68,6 мм, 2100 ж. қарай орташа 62,5 мм құрайтыны анықталды, сәйкесінше 1980-2020 жж. ылғал қорының нормасына (83,8 мм) қатысты 2050 ж. қарай ылғал қоры 18 % азаюы, ал 2100 ж. қарай 25 % азаятындығы анықталды. Ал SSP5-8.5 сценарийі бойынша 1980-2020 жж. нормаға қатысты 2050 ж. қарай 15 %-ға, 2100 ж. 43 %-ға азаюы күтілуде. Яғни климатты болжаудың «қатаң» сценарий бойынша ылғал қорының ең үлкен азаюы күтілуде (4.11-сурет).



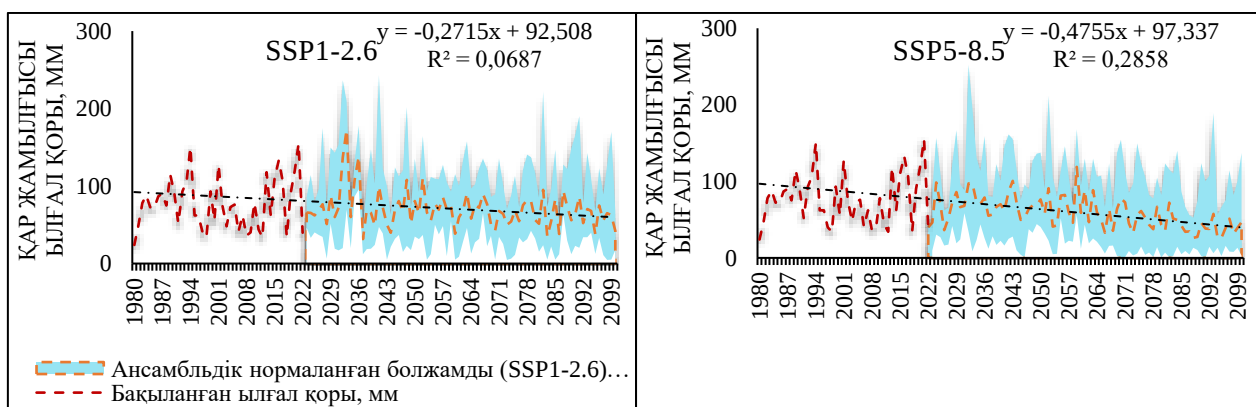
Сурет 4.11 – Благовещенка МС қар жамылғысы ылғал қорының ұзақ мерзімді өзгеру динамикасы

Балкашино станциясында 1980-2020 жж. нормаға (138,7 мм) қатысты SSP1-2.6 сценарий бойынша ылғал қоры 2050 ж. қарай 7 % өсетіндігі, 2100 ж. 4 % азаятындығы анықталды. SSP5-8.5 сценарийі бойынша ылғал қоры нормаға қатысты 2050 ж. қарай 12 %, ал 2100 ж. – 46 % азаюы болжануда (4.12-сурет).



Сурет 4.12 – Балкашино МС қар жамылғысы ылғал қорының ұзақ мерзімді өзгеру динамикасы

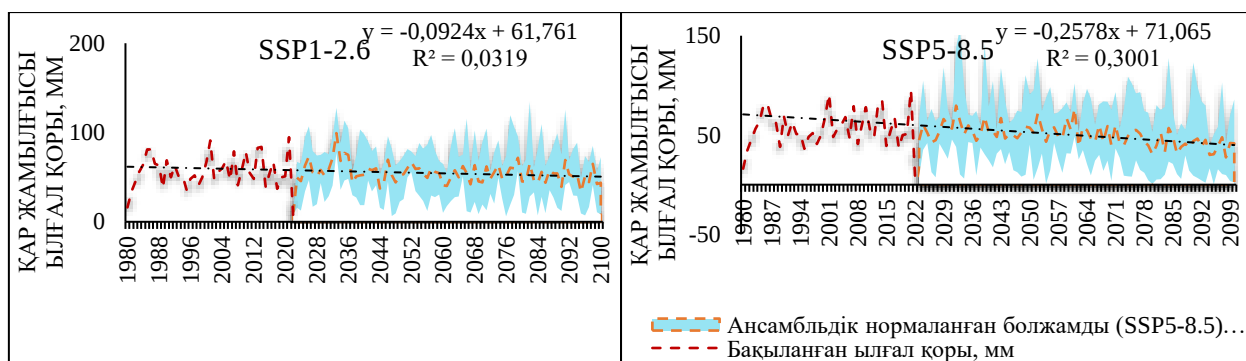
- Сергеевка станциясында 1980-2020 жж. нормаға (75,3 мм) қатысты SSP1-2.6 сценарий бойынша ылғал қоры 2050 ж. қарай 25 %, ал 2100 ж. 23 % азаятындығы анықталды. SSP5-8.5 сценарийі бойынша ылғал қоры нормаға қатысты 2050 ж. қарай 24 %, ал 2100 ж. – 39 % азаюы болжануда (4.13-сурет);



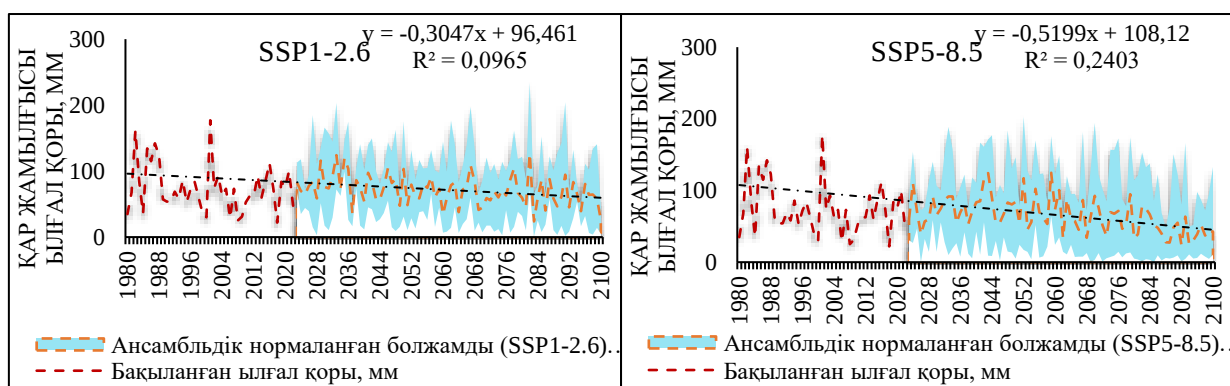
Сурет 4.13 – Сергеевка МС қар жамылғысы ылғал қорының ұзақ мерзімді өзгеру динамикасы

- Степногорск станциясында 1980-2020 жж. нормаға (56,5 мм) қатысты SSP1-2.6 сценарий бойынша ылғал қоры 2050 ж. қарай 34 %, ал 2100 ж. 48 % азаятындығы анықталды. SSP5-8.5 сценарийі бойынша ылғал қоры нормаға қатысты 2050 ж. қарай 28 %, ал 2100 ж. – 56 % азаюы болжануда (4.14-сурет);
- Явленка станциясында 1980-2020 жж. нормаға (73,7 мм) қатысты SSP1-2.6 сценарий бойынша ылғал қоры 2050 ж. қарай 9 % жоғарылайтындығы, ал 2100 ж. 9 %-ға азаятындығы анықталды. SSP5-8.5 сценарийі бойынша ылғал қоры нормаға қатысты 2050 ж. қарай 10 %-ға жоғарылауы күтілсе, ал 2100 ж. – 22 % азаюы болжануда (4.15-сурет);
- Булаево станциясында 1980-2020 жж. нормаға (84,3 мм) қатысты SSP1-2.6 сценарий бойынша ылғал қоры 2050 ж. қарай 10 % жоғарылайтындығы, ал 2100 ж. өзгеріссіз қалатындығы анықталды. SSP5-8.5 сценарийі бойынша ылғал

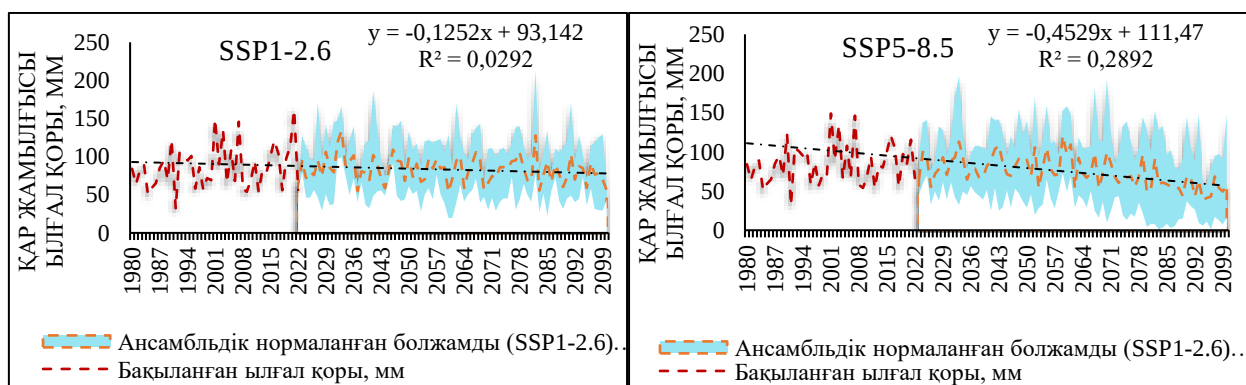
қоры нормаға қатысты 2050 ж. қарай 9 %-ға жоғарылауы күтілсе, ал 2100 ж. – 2 %-ға ғана азаюы болжануда (4.16-сурет).



Сурет 4.14 – Степногорск МС қар жамылғысы ылғал қорының ұзақ мерзімді өзгеру динамикасы



Сурет 4.15 – Явленка МС қар жамылғысы ылғал қорының ұзақ мерзімді өзгеру динамикасы



Сурет 4.16 – Булаево МС қар жамылғысы ылғал қорының ұзақ мерзімді өзгеру динамикасы

Осылайша, Есіл сушаруашылық алабында SSP1-2.6 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай қар жамылғысы ылғал қоры -34 % ... +10 % аралығында өзгередіні анықталды, ал 2100 ж. қарай -48 % ... 0 % аралығында өзгередіндігі анықталды.

Жалпы алаптық деңгейді 2050 ж. қар жамылғысы 8,5 % азаятын болса, 2100 жылға қарай 18,2 % азаюы мүмкін.

SSP5-8.5 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай қар жамылғысы ылғал қоры - 28 % ... +10 % аралығында өзгертіндігі анықталды, ал 2100 ж. қарай -56 % ... 0 % аралығында өзгертіндігі анықталды. Жалпы алаптық деңгейді 2050 ж. қар жамылғысы 10 % азаятын болса, 2100 жылға қарай 35 % азаюы мүмкін.

**Нұра-Сарысу** сушаруашылығы алабындағы Бектауата және Жарық метеорологиялық станциялардағы қар жамылғысы ылғал қорының SSP1-2.6, SSP5-8.5 сценарийлері бойынша 2050, 2100 жылға дейін өзгеруі 4.8-кестеде көрсетілген.

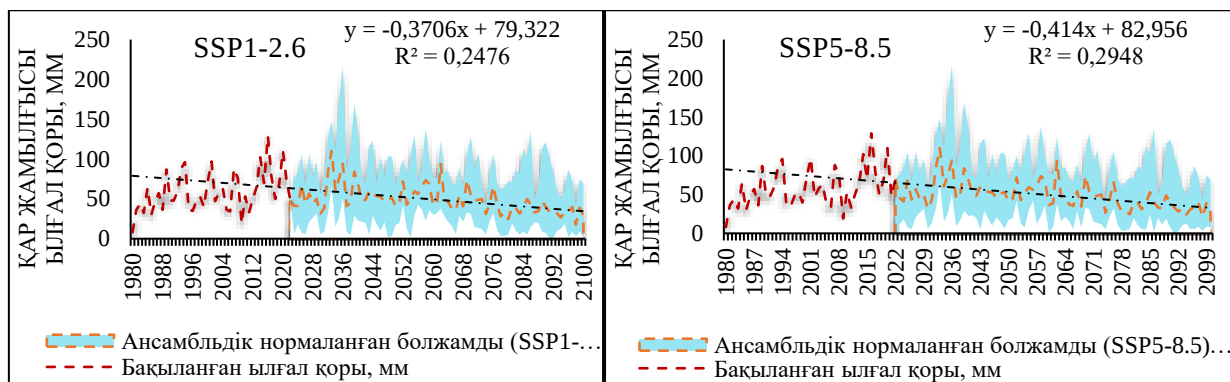
Кесте 4.8 – Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабындағы метеорологиялық станциялардағы қар жамылғысы ылғал қорының SSP1-2.6, SSP5-8.5 сценарийлері бойынша 2050, 2100 жылға дейін өзгеруі, %

| №                                                                                                                                                     | Станция   | N <sub>SWE</sub> , мм | SSP1-2.6           |                    | SSP5-8.5           |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                                                                                                                                       |           |                       | 2050               | 2100               | 2050               | 2100               |
| 1                                                                                                                                                     | Бектауата | 58,3                  | <u>37,2</u><br>-36 | <u>35,4</u><br>-39 | <u>42,1</u><br>-28 | <u>28,6</u><br>-51 |
| 2                                                                                                                                                     | Жарық     | 91,2                  | <u>56,0</u><br>-39 | <u>53,3</u><br>-42 | <u>51,9</u><br>-43 | <u>43,9</u><br>-52 |
| *Ескерту: <u>37,2</u> бөлшектің алымында болжамды ылғал қоры мәні (мм)<br>-36 бөлшектің бөлімінде көпжылдық нормасына қатысты %-дық өзгеру көрсеткіші |           |                       |                    |                    |                    |                    |

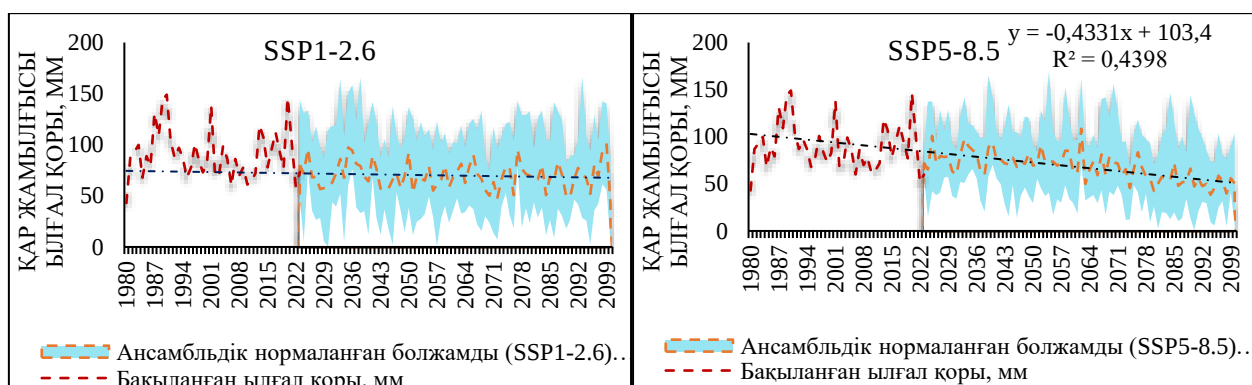
Ансамбльдік болжам нәтижесінде Нұра-Сарысу сушаруашылық алабындағы станцияларда қар жамылғысы ылғал қоры келесідей өзгеруі күтілуде:

Бектауата станциясында SSP1-2.6 сценарийі бойынша қар жамылғысы ылғал қоры 2050 ж. орташа мәні 37,2 мм, 2100 ж. қарай орташа 35,4 мм құрайтыны анықталды, сәйкесінше 1980-2020 жж. ылғал қорының нормасына (58,3 мм) қатысты 2050 ж. қарай ылғал қоры 36 % азаюы, ал 2100 ж. қарай 39 % азаятындығы анықталды. Ал SSP5-8.5 сценарийі бойынша 1980-2020 жж. нормаға қатысты 2050 ж. қарай 28 %-ға, 2100 ж. 51 %-ға азаюы күтілуде. Яғни климатты болжаудың «қатаң» сценарий бойынша ылғал қорының ең үлкен азаюы күтілуде (4.17-сурет).

Жарық станциясында SSP1-2.6 сценарийі бойынша қар жамылғысы ылғал қоры 2050 ж. орташа мәні 56,0 мм, 2100 ж. қарай орташа 53,3 мм құрайтыны анықталды, сәйкесінше 1980-2020 жж. ылғал қорының нормасына (91,2 мм) қатысты 2050 ж. қарай ылғал қоры 39 % азаюы, ал 2100 ж. қарай 42 % азаятындығы анықталды. Ал SSP5-8.5 сценарийі бойынша 1980-2020 жж. нормаға қатысты 2050 ж. қарай 43 %-ға, 2100 ж. 52 %-ға азаюы күтілуде. Яғни климатты болжаудың «қатаң» сценарий бойынша ылғал қорының ең үлкен азаюы күтілуде (4.18-сурет).



Сурет 4.17 – Бектауата МС қар жамылғысы ылғал қорының ұзақ мерзімді өзгеру динамикасы



Сурет 4.18 – Жарық МС қар жамылғысы ылғал қорының ұзақ мерзімді өзгеру динамикасы

Осылайша, Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында SSP1-2.6 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай қар жамылғысы ылғал қоры -36 % ... 39 % аралығында, ал 2100 ж. қарай -39 % ... -42 % аралығында азаятыны анықталды. Жалпы алаптық деңгейді 2050 ж. қар жамылғысы 37,5 % азаятын болса, 2100 жылға қарай -40,5 % азаюы мүмкін.

SSP5-8.5 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай қар жамылғысы ылғал қоры -28 % ... -43 % аралығында өзгертінді анықталды, ал 2100 ж. қарай -51-52 % аралығында өзгертіндігі анықталды. Жалпы алаптық деңгейді 2050 ж. қар жамылғысы 35,5 % азаятын болса, 2100 жылға қарай 51,5 % азаюы мүмкін.

Қорытындылай келе, қар жамылғысы ылғал қоры Есіл сушаруашылығы алабы үшін климаттың өзгеруінің «жеңіл» SSP1-2.6 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай 8,5 %, 2100 ж. қарай 18,2 % азаятындығы анықталса, «қатаң» SSP5-8.5 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай 10 %, 2100 ж. – 35 % азаятындығы анықталды. Жалпы, алап бойынша қар жамылғысы ылғал қорының төмендеу динамикасы күтіледі.

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында климаттың өзгеруінің «жеңіл» SSP1-2.6 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай 37,5 %, 2100 ж. – 40,5 %, ал «қатаң» SSP5-8.5 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай 35,5 %, 2100 ж. – 51,5 % азаюы күтіледі.

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында, Есіл сушаруашылығы алабына қарағанда, қар жамылғысы ылғал қорының азаюы қарқынды болатындығы, яғни 2100 ж. қарай 50 % астам шамаға азаятындығы анықталды. Бұл өз кезегінде алаптың орналасу ерекшелігімен байланысты.

Қар жамылғысы ылғал қорының қарастырылып отырған алаптарда өзгеру динамикасын, нақты азаю тенденциясы, өзен ағындысының негізгі қорек көзі бола тұрып, көктемгі өзен ағындысының төмендеуіне, сонымен бірге ауыл шаруашылығы, оның ішінде егістік жақсы дамыған еліміздің солтүстік өңірлерінде үлкен өзгерістерге алып келуі ықтимал. Сондықтан, зерттеу жұмысында алынған нәтижелер климаттың өзгеруі салдарына бейімделу мақсатында негіз болуы мүмкін.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Климаттың өзгеруі жағдайында Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптарында қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру динамикасын зерттеу бойынша келесі қорытындылар алынды:

1. Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алаптарында климаттың өзгеруін бағалау барысында 1941-2021 жж. кезеңінде жылдық және маусымдық таралауында ауа температурасының сәйкесінше Есіл алабында  $0,29\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жылға, Нұра-Сарысу алабында  $0,26\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл жылдамдығымен жоғарылағандығы байқалады. Ал климаттың жаһандық өзгеру кезеңінің бастау алған кезеңінен бастап, яғни 1976-2021 жж. кезеңінде орташа жылдық ауа температурасы сәйкесінше  $0,29\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл,  $0,24\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жылға жоғарылауы анықталды. Жер шарының жер беті ауа температурасының әрібір 10 жылға  $0,19\text{ }^{\circ}\text{C}$  жылдамдығымен жоғарылайтынын ескеретін болсақ, зерттеліп отырған алаптардағы ауа температурасының өсу жылдамдығының қарқынды болуы байқалады. Сонымен бірге, ауа температурасының жыл ішіндегі таралуында көктем және күз мезгілдеріндегі ауа температурасының статистикалық маңызды өсуі байқалады. Есіл сушаруашылығы алабында көктемде  $0,64\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл жылдамдығымен жоғарыласа, күзде  $0,36\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл жылдамдығымен өседі, ал Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында көктемде  $0,72\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл, күзде –  $0,22\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  жыл жылдамдығымен өсетіндігі анықталды.

Зерттеу алаптарында жауын-шашын мөлшері тенденциясының өзгеруін анықтау барысында Есіл сушаруашылығы алабында 1976-2021 жж. кезеңінде жылдық жауын-шашын мөлшері  $8,22\text{ мм}/10$  жыл жылдамдығымен ұлғаюы, ала Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында  $3,3\text{ мм}/10$  жыл жылдамдығымен ұлғаюы байқалған, алайда статистикалық маңыздылыққа ие болмағандығы анықталды. Жауын-шашын мөлшерінің маусымдық өзгеруінде 1976-2021 жж. қыс-жаз мезгілдерінде жауын-шашынның статистикалық маңызды емес өсу байқалған. Тек күз мезгілінде жауын-шашын мөлшерінің Есіл сушаруашылығы алабында  $0,02\text{ мм}/10$ жыл, Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында  $0,77\text{ мм}/10$  жыл жылдамдығымен азаю тренді байқалады. Зерттеу алаптарындағы жауын-шашын мөлшерлерінің өзгерулері статистикалық маңыздылыққа ие емес екендігі анықталды.

2. Қар жамылғысының ылғал қорының өзгеру динамикасын зерттеу барысында Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алаптарында 1971-2020 жж. кезеңі үшін бақылау мәліметтері қолданылды. Зерттеу алаптарында тұрақты қар жамылғысының орнатылуы және жойылуы, қар жамылғысы ылғал қорының кеңістіктік-уақыттық таралуы қарастырылды. Қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру динамикасын зерттеу үшін статистикалық әдістер, Ман-Кендалл параметрлік емес тесті қолданылды.

Есіл сушаруашылығы алабында 1971-2020 жж. кезеңіндегі көпжылдық ылғал қоры мәліметтері негізінде максималды ылғал қоры мәні  $37,5\text{ мм}$  (Чкалово) –  $145,7\text{ мм}$  (Балкашино) аралығында ауытқыса, алап үшін орташа аудандық мәні –  $75,7\text{ мм}$  құрайтыны анықталды. Сонымен бірге, қар

жамылғысындағы максималды ылғал қорының айырымдық интегралды қисығына сәйкес, 1970 жылдан 1984 жылға дейінгі кезең қар жамылғысы ылғал қорының төмендеу циклін көрсетсе, 1985 ж. бастап 2007 ж. дейінгі кезеңінде ұлғаю циклі байқалады, әрі қарай 2007-2012 жж. – төмендеу циклі, ал 2013-2017 жж. ылғал қорының жоғарылау циклінің орын алуы байқалған. қар жамылғысының максималды ылғал қорының өзгеру жылдамдығы келесідей болды: өсу жылдамдығы 0,45 – 17,80 мм/10 жыл құраса, азаю жылдамдығы 0,13 – 6,54 мм/10 жыл тең. Қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру жылдамдығында қандай да бір заңдылықтың орын алуы анықталмады.  $(SWE)_{\max}$  өсуінің статистикалық маңызды трендтері Рузаевка, Саумалкөл, Жақсы метеорологиялық станцияларында байқалса,  $(SWE)_{\max}$  төмендеуінің статистикалық маңызды трендтері Возвышенка станциясында байқалған. Бұл өзгерістер Фишердің үлестіру критерийі бойынша F есептеулерімен де расталады.

Ман-Кендалл параметрлік емес тестінің нәтижелеріне сәйкес, Жақсы, Рузаевка, Саумалкөл, Щучинск метеостанциялары қар жамылғысы ылғал қорының өсу тенденциясы байқалып, оның өсуі маңызды болып табылатыны анықталды. Ал Возвышенка станциясында азаю тенденциясының маңыздылығы анықталды.

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының 1971-2020 жж. кезеңіндегі қар жамылғысы максималды ылғал қорының кеңістіктік-уақыттық өзгеруін бағалау нәтижесінде қар жамылғысы максималды ылғал қоры мәні 28,3 мм (Ақадыр) – 118,5 мм (Қызылту) аралығында ауытқыса, алап үшін орташа аудандық мәні – 63,7 мм құрайтыны анықталды. - Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының қар жамылғысындағы максималды ылғал қорының айырымдық интегралды қисығына сәйкес, 1970 жылдан 1986 жылға дейінгі кезең қар жамылғысы ылғал қорының төмендеу циклін көрсетсе, 1987 ж. бастап 2001 ж. дейінгі кезеңінде ұлғаю циклі байқалады, әрі қарай 2002-2012 жж. – төмендеу циклі, ал 2013 ж. бастап ылғал қорының жоғарылау циклін көрсетеді. Қар жамылғысының максималды ылғал қорының өзгеру жылдамдығы келесідей болды: өсу жылдамдығы 0,60 – 10,3 мм/10 жыл құраса, азаю жылдамдығы 0,50 – 6,20 мм/10 жыл тең. Қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру жылдамдығында қандай да бір заңдылықтың орын алуы анықталмады.  $(SWE)_{\max}$  өсуінің статистикалық маңызды тренді Ақсу-Аюлы метеорологиялық станциясында байқалса,  $(SWE)_{\max}$  төмендеуінің статистикалық маңызды тренді Қарағанды СХОС станциясында байқалған. Бұл өзгерістер Фишердің үлестіру критерийі бойынша F есептеулерімен де расталады;

Ман-Кендалл параметрлік емес тестінің нәтижелеріне сәйкес, Ақсу-Аюлы станциясында қар жамылғысы ылғал қорының өсу тенденциясы байқалып, оның өсуі маңызды болып табылатыны анықталды. Ал Қарағанды СХОС станциясында азаю тенденциясының маңыздылығы анықталды.

3. Қазақстанның жазық аумағы үшін қар жамылғысының ауданын бағалау мақсатында NASA деректері негізінде NDSI өнімі және реанализ мәліметтерін

қолдану мүмкіндіктерін зерттеу мақсатында Terra Climate жаһандық климаттық қорының мәліметтері қолданылды.

Terra Climate реанализінің мәліметтерін бақылау желісі мәліметтерімен салыстыру нәтижесінде нәтижесінде Есіл сушаруашылығы алабында алаптың биік жерлерінде ылғал қорын жақсы өндіретіні байқалды. Мәселен, биіктігі жоғары аймақтарда ылғал қорын 3-12 мм артық бағаласа, алаптың жазық аудандарында бұл көрсеткіш СҚО-да 33 мм (Тайынша, Петропавл МС), Ақмала облысында 41 мм (Степногорск, Аршалы, Ерейментау МС) дейін жететіндігі анықталды. Жалпы Есіл сушаруашылығы алабында алаптық деңгейде реанализ мәліметі қар жамылғысы ылғал қорын 17 мм жоғары бағалайтыны, ал Нұра-Сарысу алабында орташа алғанда 30 мм-ге жоғары бағалайтыны анықталды. Бұл айырмашылыққа қарамастан, қар жамылғысы ылғал қорының кеңістіктік таралуын Есіл алабы үшін жақсы дәреже көрсетсе, Нұра-Сарысу алабында ылғал қорының таралуының максималды ошағы Terra Climate реанализі бойынша тек алаптың солтүстік аймағында (Қарағанды МС) байқалатыны анықталды, ал бақылау мәліметтеріне сәйкес ылғал қоры Сарысу өзені бастауы аймағында, алаптың солтүстік батыс аймағында Нұра өзенінің Теңіз көліне құяр аймағында байқалады. Сонымен бірге, 1971-2020 жж. егер бақылау мәліметтер бойынша қар жамылғысы ылғал қоры Есіл алабы үшін 1,87 мм/10 жыл жылдамдығымен, Terra Climate реанализі мәліметтері бойынша 3,55 мм/10 жыл жылдамдығымен жоғарылайтындығы анықталды. Нұра-Сарысу алабында ылғал қоры 1,11 мм/10 жыл жылдамдығымен, Terra Climate реанализі бойынша 3,94 мм/10 жыл жылдамдығымен жоғарылайтындығы анықталды. Алайда екі бақылау мәліметтеріне сәйкес, бұл жоғарылау статистикалық маңыздылыққа ие емес. Осылайша, Terra Climate климаттық қорының мәліметтері қар жамылғысы ылғал қорын Есіл және Нұра-Сарысу сушаруашылығы алаптары, яғни Қазақстанның жазық аймағында өнімділіктің «жақсы» және «қанағаттанарлық» деңгейінде шығарылатыны анықталды.

NASA мәліметі негізінде есептелген NDSI индексі өнімінің нәтижесінде 2000-2010 және 2011-2022 жж. қар жамылғысының аумағының өзгеру динамикасы наурыз және сәуір айларында тұрақсыз төмендеуін көрсетті. Қар жамылғысы ауданының жалпы азаю тенденциясы тұсында наурыз айы үшін 2004-2011 жж. және сәуір айы үшін 2008-2011 жж. қысқамерзімді ұлғаюы байқалған. Алайда қар жамылғысы ауданының азаю тенденциясы әр 10 жыл сайын шамамен 4 % азаятындығы көрсетті, дегенмен,  $\alpha=0,05$  деңгейінде тенденцияның статистикалық маңызсыздығы анықталды. Қар жамылғысының температурамен тығыз байланысын ескере отырып, болашақта қар жамылғысының азаюын күту заңды.

Қазіргі заманғы өзгерістер шамалы болып көрінгенімен, зерттеу жұмысында қарастырылатын Қазақстанның солтүстік бөлігі ұзақ уақыт бойы қауіпті егіншілік аймағына жатады. Қар жамылғысының қысқаруына байланысты жағдай одан әрі нашарлауы мүмкін, оның ең үлкен ықтимал теріс әсері ауыл шаруашылығына тиюі етеді. Қарлы құрғақшылық жиілеп, көктемгі құрғақшылықтың жоғарылауы және жаздық дақылдардың өнімділігінің

төмендеуі мүмкін. Өзгерістер демалыс секторына да кері әсерін тигізеді. Су секторына әсері қысқы ылғалдың соңғы қорына байланысты болады, ол өзгермеуі мүмкін, өйткені жауын-шашын сұйық фазада түсуі мүмкін.

4. Қар жамылғысы ылғал қорын сандық модельдеу және болжау мақсатында бұл жұмыста MODSNOW моделінің негізгі компоненті MODSNOW V03 нұсқасы пайдаланылды. Аталған модельді бейімдеу мақсатында зерттеу алаптарындағы 1980-2020 жж. кезеңі үшін тәуліктік метеорологиялық мәліметтер қолданылды. 1980-1999 жж. ылғал қорын калибрлеу нәтижесінде Есіл сушаруашылығы алабында тиімділік көрсеткіштері NSE критерийі 0,16 – 0,85 аралығында ауытқитыны, RSR көрсеткіші 0,38 – 0,84 аралығында, пайыздық қателік PBIAS +0,2 ... +33,4 % диапазонында ауытқитын анықталды. Көрсеткіштерді талдау нәтижесінде өнімділіктің «өте жақсы» деңгейіне Сергеевка, Чкалово, Кішкенекөл және Рузаевка станциялары, ал «жақсы» көрсеткішке Ақкөл, Благовещенка, Балкашино, Степногорск, Явленка, Булаево, Ерейментау, Саумалкөл, Тайынша, Тимирязев станцияларын нәтижелері жатады. Қалған метеорологиялық станциялардың нәтижелері «қанағаттанарлықсыз» деңгейге жататыны байқалады. Ал Нұра-Сарысу алабында NSE критерийі 0,16 (Жетіқоңыр) мен 0,79 (Жарық) аралығында ауытқитындығы анықталды. Корреляция коэффициенті де NSE критерийінің көрсеткіштерімен сәйкес келгендігі байқалады. Пайыздық PBIAS қателік көрсеткіші 2 – 34 % аралығында ауытқитындығын, сонымен қатар модельді ылғал қорын асыра бағалайтындығы анықталды, тек Жетіқоңыр, Құлжамбай станцияларында ғана ылғал қорын жеткіліксіз бағалайтындығы анықталды, дегенмен бұл станциялардың нәтижелері өнімділіктің «қанағаттанарлық» деңгейіне сәйкес келуі анықталды. RSR стандартты ауытқу коэффициенті 0,46 – 0,92 аралығында ауытқиды: мұнда ауытқудың ең төменгі көрсеткіші Жарық, Ақсу-Аюлы МС байқалған. Осылайша, алапта орналасқан станциялардың қар жамылғысы ылғал қорын калибрлеу нәтижесінде өнімділіктің «өте жақсы» деңгейін Ақсу-Аюлы станцияларында байқалса, «жақсы» деңгей Ақадыр, Бектауата, Жарық, Жезқазған, Бесоба станцияларында анықталды. Ал қалған 7 метеостанцияның нәтижелері өнімділіктің «қанағаттанарлық» немесе «қанағаттанарлықсыз» деңгейіне сәйкес келді. 2000-2020 жж. кезеңі үшін жүргізілген валидация нәтижелері Есіл алабында Благовещенка, Балкашино, Сергеевка, Степногорск, Явленка, Рузаевка және Булаево станциялары жатады. Алайда, бұл тізімнен Рузаевка станциясы шығарылды, себебі физикалық тұрғыдан алапта орналасқан метеостанциялардағы параметрлердің көрсеткіштерімен сәйкес келмейді. Нәтижесінде өнімділіктің «өте жақсы» және «жақсы» рейтингісіне сәйкес келетін станциялар ретінде келесі 6 метеорологиялық станция қабылданды: Благовещенка, Балкашино, Сергеевка, Степногорск, Явленка, Булаево. Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында калибрлеуден тәуелсіз 2000-2020 жж. кезеңінде валидациялау нәтижесінде өнімділіктің «өте жақсы», «жақсы» деңгейіне сәйкес келген Бектауата және Жарық станцияларын қар

жамылғысы ылғал қорын немесе биіктігін қысқа, орта және ұзақ уақытты болжау мақсатында қолдануға болады деген тұжырым қабылданды.

Қар жамылғысы ылғал қорының болашақ өзгерістерінің динамикасын бағалау үшін кіріс деректері ретінде Сектораралық әсер ету модельдерін өзара салыстыру жобасының (ISIMIP) үлгілерді бірлескен салыстыру жобасының 6-фазасының (CMIP6) нәтижелері негізінде ғасырдың соңына дейінгі климаттық деректер «жалпы әлеуметтік-экономикалық жолдарының» SSP1-2.6 «Тұрақты даму (жасыл жолды таңдау)» және SSP5-8.5 «Қазба отынымен игеру (мақсатқа жету жолында)» сценарийлері пайдаланылды. Осы мақсатта MODSNOW моделін бейімдеудің жақсы нәтижелерін көрсеткен станциялардың модельдері пайдаланылды.

Есіл сушаруашылық алабында SSP1-2.6 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай қар жамылғысы ылғал қоры -34 % ... +10 % аралығында өзгеретіні анықталды, ал 2100 ж. қарай -48 % ... 0 % аралығында өзгеретіндігі анықталды. Жалпы алаптық деңгейді 2050 ж. қар жамылғысы 8,5 % азаятын болса, 2100 жылға қарай 18,2 % азаюы мүмкін. SSP5-8.5 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай қар жамылғысы ылғал қоры -28 % ... +10 % аралығында өзгеретіні анықталды, ал 2100 ж. қарай -56 % ... 0 % аралығында өзгеретіндігі анықталды. Жалпы алаптық деңгейді 2050 ж. қар жамылғысы 10 % азаятын болса, 2100 жылға қарай 35 % азаюы мүмкін.

Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында SSP1-2.6 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай қар жамылғысы ылғал қоры -36 % ... 39 % аралығында, ал 2100 ж. қарай -39 % ... -42 % аралығында азаятыны анықталды. Жалпы алаптық деңгейді 2050 ж. қар жамылғысы 37,5 % азаятын болса, 2100 жылға қарай -40,5 % азаюы мүмкін. SSP5-8.5 сценарийі бойынша 2050 ж. қарай қар жамылғысы ылғал қоры -28 % ... -43 % аралығында өзгеретіні анықталды, ал 2100 ж. қарай -51-52 % аралығында өзгеретіндігі анықталды. Жалпы алаптық деңгейді 2050 ж. қар жамылғысы 35,5 % азаятын болса, 2100 жылға қарай 51,5 % азаюы мүмкін.

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында, Есіл сушаруашылығы алабына қарағанда, қар жамылғысы ылғал қорының азаюы қарқынды болатындығы, яғни 2100 ж. қарай 50 % астам шамаға азаятындығы анықталды. Бұл өз кезегінде алаптың орналасу ерекшелігімен, сонымен бірге ауа температурасы мен жауын-шашынның азаюымен байланысты. Қар жамылғысы ылғал қорының қарастырылып отырған алаптарда өзгеру динамикасын, нақты азаю тенденциясы, өзен ағындысының негізгі қорек көзі бола тұрып, көктемгі өзен ағындысының төмендеуіне, сонымен бірге ауыл шаруашылығы, оның ішінде егістік жақсы дамыған еліміздің солтүстік өңірлерінде үлкен өзгерістерге алып келуі ықтимал. Сондықтан, зерттеу жұмысында алынған нәтижелер климаттың өзгеруі салдарына бейімделу мақсатында негіз болуы мүмкін.

6. Қар жамылғысы ылғал қорының бақылау желісі мәліметтері негізінде қазіргі заманғы өзгерістері шамалы болып көрінгенімен, зерттеу жұмысының аймақтарында, Қазақстанның солтүстік бөлігі, ұзақ уақыт бойы қауіпті егіншілік аймағына жататындығы белгілі. Қар жамылғысы ауданының

қысқаруына және оның ылғал қорының азаюына байланысты 2050, 2100 жж. қарай жағдай одан әрі нашарлауы әбден мүмкін, ең үлкен ықтимал теріс әсер ауыл шаруашылығына болады. Қарлы құрғақшылық жиілейді, көктемгі құрғақшылықтың жоғарылауы және жаздық дақылдардың өнімділігінің төмендеуі мүмкін. Су секторына әсері қысқы ылғалдың соңғы қорына байланысты болады, ол өзгермеуі мүмкін, өйткені жауын-шашын сұйық фазада түсуі мүмкін. Жауын-шашынның біршама артуы мүмкін, атмосфералық айналымның өзгеруіне байланысты циклондық белсенділік жиілігінің артуы мүмкін. Бұл ретте көлік және құрылыс секторы үшін қар жамылғысының ауданын оның туындыларымен (жату және биіктік кезеңімен), сондай-ақ температураның жоғарылауымен бірге қысқарту суық кезеңнің қаталдығы мен ұзақтығын төмендету есебінен оң әсер етуі мүмкін. Қорытындылай келе, зерттеу жұмысында қол жеткізілген тұжырымдар алаптардағы су және азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында климаттың өзгеруіне бейімделудің тиімді шараларын жасауға мүмкіндік береді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2021 году // ВМО. – Женева, 2022. – ВМО-№ 1290. – 57 с.
2. Abbass, K., Qasim, M.Z., Song, H. et al. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environ Sci Pollut Res* 29, 42539–42559 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
3. State of the global climate // World Meteorological organization, 2023 <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-annual-report-highlights-continuous-advance-of-climate-change>
4. Пиманкина Н.В. (1998). Тенденции изменения характеристик снежности Казахской части Тянь-Шаня за последние 30 лет // Географические основы устойчивого развития Республики Казахстан. Алматы, 75-79.
5. Пиманкина Н.В., Такибаев Ж.Д. Оценка изменений снежности Алтая по наземным данным // География и водные ресурсы. №3, 2021, 3-11 с.
6. Пиманкина Н.В., Такибаев Ж.Д. Динамика снежного покрова в бассейне р. арыс в условиях изменения климата. *Journal of Geography & Environmental Management* . 2023, Vol. 70 Issue 3, p72-84. 13p.
7. Турулина Г.К., Сальников В.Г., Полякова С.Е., Муратова Н.Р. (2013). Современные тенденции продолжительности залегания снежного покрова в Северном Казахстане // Гидрометеорология и экология, №3, 7-15.
8. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Таланов Е.А., Полякова С.Е., Кауазов А.М., Воротынцева В.В. (2015). Структура многолетних колебаний образования и разрушения снежного покрова в Северном Казахстане // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, Выпуск 358 Под редакцией д-ра геогр. наук В.М. Хан, Москва, 133-144.
9. Молдахметов М.М., Махмудова Л.К. (2015). Пространственно-временная изменчивость максимальной высоты снежного покрова на территории Северного и Центрального Казахстана // Гидрометеорология и экология, №3, 28-37
10. 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., Тюрбебаева С.И. (2016). Исследование дат схода снежного покрова в Северном Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Т. 13, №1, 161-168
11. Елеуова К.Т., Нурбацина А.А., Абаев Н.Н., Болатов К.М., Тілләкәрім Т.А., Ершова Н.В. Районирование равнинной территории Республики Казахстан по плотности снежного покрова // Вестник КРСУ. 2021. Том 21. № 4. 195 с.
12. 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., Тюрбебаева С.И. Исследование динамики дат схода снежного покрова в Северном Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из

- космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 161–168. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-161-168
13. 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 // Тр. Гидрометцентра России. 2015. Вып. 358. С. 133–144
14. Кауазов А.М., Муратова Н.Р., Тюребаева С.И., Бердыгулов Н. Мониторинг снеготаяния в Северном Казахстане с использованием спутниковых данных NOAA/AVHRR. Прикладные космические исследования в Казахстане / под ред. Жантаева Ж.Ш. Алматы: Дайк-Пресс, 2010. С. 25–29
15. Кауазов А.М. Возможность определения дат схода снежного покрова в Северном Казахстане по спутниковым данным NOAA/AVHRR // Вестн. Казахского нац. ун-та. Сер. географ. 2010. № 1. С. 95–99
16. Кауазов А.М., Муратова Н.Р., Тюребаева С.И. Анализ динамики схода снежного покрова в Республике Казахстан с 2001 по 2010 г. по спутниковым данным NOAA/AVHRR // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 42–46
17. Терехов А.Г. Спутниковый мониторинг формирования снежного покрова Казахстана // Гидрометеорология и экология. 2018. Т. 90. № 3. С. 29–36
18. Терехов А.Г., Пак А.А. Спутниковый прогноз влияния пополнения Капшагайского водохранилища (КНР) на водность трансграничной р. Иле в 2019 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 298–302. DOI:10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302
19. Терехов А.Г., Ивкина Н.И., Юничева Н.Р., Витковская И.С., Елтай А.Г. Изменения снежного покрова сухих степей и полупустынь Казахстана на примере бассейна реки Эмбы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 101–113. DOI:10.21046/2070-7401-2020-17-2-101-113
20. Терехов А.Г., Абаев Н.Н., Тиллакарим Т.А. Явление аномального снегопада 13–14 марта 2021 г. на юге Казахстана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. №4. С. 279–284 DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-279-284
21. Постановление Правительства Республики Казахстан от 26 мая 2021 года № 344. О проекте Указа Президента Республики Казахстан "Об утверждении основных направлений государственной политики Республики Казахстан в сфере официальной помощи развитию на 2021 – 2025 годы". – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000344> (дата обращения: 18.09.2021)
22. Қазақстан Республикасының 2021 жылғы 2 қаңтардағы № 400-VI ҚРЗ Кодексі <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K2100000400> (дата обращения 18.09.2021)
23. Кузьмин, П.П. Физические свойства снежного покрова / П.П. Кузьмин. - Л.: Гидрометеиздат, 1957. - 178 с.
24. Копанев И.Д. Снежный покров на территории СССР / И.Д. Копанев. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 182 С.

25. Barnett, T.P. Potential Impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions / T.P. Barnett, J.C. Adam, D P. Lettenmaier // Nature. - 2005. - Vol. 438. - P. 303-309.
26. Beniston, M. Rain-on-snow events, floods and climate change in the Alps: events may increase with warming up to 4 oC and decrease thereafter / M. Beniston, M. Stoffel // Sci. Total Environ. – 2016
27. Gerlitz, L., E. Steirou, C. Schneider, V. Moron, S. Vorogushyn, and B. Merz, 2019: Variability of the Cold Season Climate in Central Asia. Part II: Hydroclimatic Predictability. J. Climate, 32, 6015–6033, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0892.1>
28. Vionnet, V. The detailed snowpack scheme Crocus and its implementation in SURFEX v7.2 / V. Vionnet, E. Brun, S. Morin, A. Boone, S. Faroux, P. L. Moigne, E. Martin, J.-M. Willemet // Geoscientific Model Development. - 2012. - Vol. 5. - P. 773-791. doi: 10.5194/gmd-5-773-2012
29. ЕНyd [электронный ресурс] // Bundesministerium. - 2019. - Режим доступа: <https://ehyd.gv.at/>
30. Fierz, C. The International Classification for Seasonal Snow on the Ground [электронный ресурс] / C. Fierz, R. L. Armstrong, Y. Durand, P. Etchevers, E. Greene, D.M. McClung, K. Nishimura, P.K. Satyawali, S.A. Sokratov // IHP-VII Technical Documents in Hydrology № 83. - 2009. - Режим доступа: <https://www.ecmwf.int/>
31. IASH [электронный ресурс] // International classification for seasonal snow on the ground. -2019. - Режим доступа: <http://www.hydrology.nl/ihppublications/178-the-international-classification-for-seasonal-snow-on-the-ground.html>
32. Воейков, А.И. Снежный покров, его влияние на почву, климат, погоду и способы исследования / А.И. Воейков. СПб.: Записки Императорского русского Географического Общества по общей географии, 1889. Т. XVIII. № 2. - 212 с.
33. Рихтер, Г.Д. Снежный покров, его формирование и свойства / Г.Д. Рихтер. - М. - Л.: Изд-во Академии Наук СССР, 1945. - 120 с.
34. Утешев А.С. Климат Казахстана / Гидрометеиздат, Л.: 1959, 371 с.
35. Дюнин А. К. Механика метелей. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963, 380 с.
36. Дюнин А.К., Матвиенко В.С. Механика горных метелей / В кн.: Материалы гляциологических исследований, хроника, обсуждения. Вып. 23. М.: Институт географии АН СССР, 1975, с. 136-141
37. Котляков В. М. Снежный покров Земли и ледники. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 480 с.
38. Colbeck, S. (1987). History of snow-cover research. Journal of Glaciology, 33(S1), 60-65. doi:10.3189/S0022143000215839
39. Church J.E. (1914) Recent studies of snow in the United States. Q.J.R. Meteorol. Soc., 40: 43-52. <https://doi.org/10.1002/qj.49704016905>
40. Pauckle, 1938. Pracktische Schnee und Lawinenkunde. Berlin, Julius Springer
41. Seligman, G. 1936. Snow structure and ski fields. London, Macmillan

42. Bekker, M.G. 1951. Snow studies in Germany. Ottawa, National Research Council of Canada. Associate Committee on Soil and Snow Mechanics. (Technical Memorandum No. 20.)
43. Quervain, M. de. (1963). On the metamorphism of snow. In Kingery, W.D., ed. Ice and snow; properties, processes, and applications. Cambridge, MA, MIT Press, p. 377-90
44. Johnson, H., and Bader, H. 1947. Report on snow research in Switzerland and comments on the military significance of snow. New Brunswick, NJ, Rutgers University
45. Legget, R.F. 1949. Canadian interest in snow and ice research. Ottawa, National Research Council of Canada. Associate Committee on Soil and Snow Mechanics, p. 40-60. (Technical Memorandum No. 14.)
46. Richter, G. 1961. Development of snow studies in the USSR. Union Geodesique et Geophysique Internationale. Association Internationale d'Hydrologie Scientifique. Commission des Neiges et Glaces. Assemblee Generate de Helsinki 25-7-6-8 1960, p. 69-73. (Publication No. 54 de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique.)
47. Кузьмин П. П. Процесс таяния снежного покрова. - Л.: Гидрометеиздат, 1961. - 348 с.
48. Методические указания по критическому просмотру материалов по снежному покрову (ежедневные наблюдения и снегосъемки, РГП «Казгидромет», Алматы, 2006, 24 с.
49. Appel F., Bach H., Loew A., et al. // Proc. 2005 IEEE Int. Symp. Geoscience and Remote Sensing (IGARSS'05). Seoul. 25-29 Jul. 2005. N.Y.: IEEE, 2005. V. 3. P. 1955
50. Кауазов А.М. О применении инфракрасных каналов радиометра NOAA/AVHRR для определения даты начала снеготаяния // Гидрометеорология и экология. –2010. –№ 1. –С. 116-123
51. Gafurov A., Lu'dtke S., Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Scho'ne T., Schmidt S., Kalashnikova O., Merz B. MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data // Environ Earth Sci (2016) 75:1078 DOI 10.1007/s12665-016-5869-x
52. Apel H., Gafurov A., Gerlitz L., Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Merkushkin A., Merz B. Statistical prediction of seasonal discharge in the Naryn basin for water resources planning in Central Asia. Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-8236, 2016
53. Kalashnikova O., Gafurov A. Water availability forecasting in Naryn basin using MODIS snow cover data. Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. № 3(53), 2016, 134-140
54. Apel H., Baimaganbetov A., Kalashnikova O., Gavrilenko N., Abdykerimova Zh., Agalhanova M., Gerlitz L., Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S. Gafurov A. Statistical prediction of seasonal discharge in Central Asia for water resources

- management: development of a generic (pre-) operational modeling tool. Geophysical Research Abstracts. Vol. 19, EGU2017-9017, 2017
55. Gafurov, A., Kalashnikova, O., Niyazov, D., Mamaraïmov, 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.
  56. Pamirbek kyzy, M.; Chen, X.; Liu, T.; Duulatov, E.; Gafurov, A.; Omorova, E.; Gafurov, A. Hydrological Forecasting under Climate Variability Using Modeling and Earth Observations in the Naryn River Basin, Kyrgyzstan. Water 2022, 14, 2733. <https://doi.org/10.3390/w14172733>
  57. Unger-Shayesteh, K., Conrad, C., Schöne, T., Moldobekov, B. (2015): Informed Decision-Making in Land and Water Management in Central Asia: How Earth Observation Technologies may contribute. Potsdam : GFZ German Research Centre for Geosciences. 2015, 6, <https://doi.org/10.2312/5.4.2015.001e>
  58. Mashtayeva, S., Dai, L., Che, T. et al. Spatial and temporal variability of snow depth derived from passive microwave remote sensing data in Kazakhstan. J Meteorol Res 30, 1033–1043 (2016). <https://doi.org/10.1007/s13351-016-5109-z>
  59. Каязов А., Тиллякарим 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. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-1-298-305>
  60. Инструмент "Worldview" из системы данных и информации системы наблюдения Земли NASA <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
  61. Терехов А.Г., Ивкина Н., Абаев Н., Елтай А., Егембердиева З. Валидация суточного продукта Snow DEPTH FEWS NET для бассейна реки Урал по данным метеорологических наблюдений. Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, Том 17, №3, 2020, 31-40 с.
  62. Терехов А.Г., Ивкина Н., Абаев Н., Галаева А., Елтай А. Реакция стока реки Урал на изменения высоты снежного покрова в её бассейне в период 2001–2019 гг. Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, Том 17, №5, 2020, 181-190 с.
  63. Георгиевский М.В., Хомякова В.А., Паршина Т.А. Оценка точности глобальных данных по влагозапасам в снежном покрове на примере бассейна р. Северная Двина // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2020. Т. 65. Вып. 3, 434-554 с. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.302>
  64. Barton M., Burke M. . 1977. SNOTEL: An operational data acquisition system using meteor burst technology. In Proceedings of the Western Snow Conference, 82-87
  65. Devia G.K., Ganasri B.P., Dwarakish G.S. A review on hydrological models Aquat. Procedia, 4 (2015), pp. 1001-1007
  66. Dietz A, Kuenzer C, Gessner U, Dech S. Remote sensing of snow—a review of available methods. Int J Remote Sens. 2012;33(13):4094–4134
  67. Roebeling, R. A., Feijt, A. J., & Stammes, P. (2006). Cloud property retrievals for climate monitoring: Implications of differences between Spinning Enhanced

- Visible and Infrared Imager (SEVIRI) on METEOSAT-8 and Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) on NOAA-17. *Journal of Geophysical Research*, 111, D20210. <https://doi.org/10.1029/2005JD006990>
68. Saloranta, T.M. 2012. Simulating snow maps for Norway: Description and statistical evaluation of the seNorge snow model. *The Cryosphere* 6: 1323–1337
  69. Larue, F.; Royer, A.; De Sève, D.; Langlois, A.; Roy, A.; Brucker, L. Validation of GlobSnow-2 snow water equivalent over Eastern Canada. *Remote Sens. Environ.* 2017, 194, 264–277
  70. Leavesley G. H. and Stannard, L. G. 1990. ‘ Application of remotely sensed data in a distributed-parameter watershed model’ in Kite G. W. and Wankiewicz, A. (Eds), *Proc. Workshop on Applications of Remote Sensing in Hydrology*, Saskatoon, February 1990. pp. 47–64
  71. Blöschl, G., Kirnbauer, R., and Gutknecht, D. (1991), Distributed Snowmelt Simulations in an Alpine Catchment: 1. Model Evaluation on the Basis of Snow Cover Patterns, *Water Resour. Res.*, 27(12), 3171–3179, doi:10.1029/91WR02250
  72. J. Y. Rodríguez; An Operational Forecasting Snowmelt Model with Objective Calibration: Paper presented at EGS XVIII General Assembly (Wiesbaden, Germany – May 1993). *Hydrology Research* 1 February 1994; 25 (1-2): 79–100. doi: <https://doi.org/10.2166/nh.1994.0021>
  73. Dewalle, D.R.; Rango, A. *Principles of Snow Hydrology*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2011.
  74. Martinec, J. Snowmelt-Runoff Model for Stream Flow Forecasts. *Hydrol. Res.* 1975, 6, 145–154.
  75. Martinec, J.; Rango, A. Parameter values for snowmelt runoff modelling. *J. Hydrol.* 1986, 84, 197–219.
  76. Rango, A. The Snowmelt Runoff Model (SRM). In *Computer Models of Watershed Hydrology*; Singh, V.P., Ed.; Water Resources Publications: Littleton, CO, USA, 1995; pp. 477–520.
  77. Dunkle, R.V.; Bevens, J.T. An Approximate Analysis of the Solar Reflectance and Transmittance of a Snow Cover. *J. Meteorol.* 1956, 13, 212–216.
  78. Anderson, E.A. A point of energy and mass balance model of snow cover. *NOAA Tech. Rep. NWS.* 1976, 19, 138–144
  79. Anderson E. Snow Accumulation and Ablation Model – SNOW-17. 2006, 61p.
  80. Abbott, M.B.; Bathurst, J.C.; Cunge, J.A.; O’Connell, P.E.; Rasmussen, J. An introduction to the European Hydrological System—Système Hydrologique Européen, “SHE”, 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *J. Hydrol.* 1986, 87, 61–77
  81. Marks, D.; Dozier, J. Climate and energy exchange at the snow surface in the Alpine Region of the Sierra Nevada: 2. Snow cover energy balance. *Water Resour. Res.* 1992, 28, 3043–3054
  82. Tarboton, D.G.; Luce, C.H.; Service, U.F. Utah Energy Balance Snow Accumulation and Melt Model (UEB). In *Computer Model Technical Description and Users Guide*; Utah State University: Logan, UT, USA, 1996; pp. 1–66

83. Liang, X.; Lettenmaier, D.P.; Wood, E.F.; Burges, S.J. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *J. Geophys. Res.-Atmos* 1994, 99, 14415–14428
84. Arnold, J.G.; Srinivasan, R.; Muttiah, R.S.; Williams, J.R. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 1998, 34, 1–17
85. Bartelt, P.; Lehning, M. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning Part I: Numerical model. *Cold Reg. Sci. Tech.* 2002, 35, 123–145
86. Bergström, S.; Singh, V.P. The HBV Model; Water Resources Publications: Highland Ranch, CO, USA, 1995; pp. 443–476
87. Serikbay, N.T.; Tillakarim, T.A.; Rodrigo-Illari, J.; Rodrigo-Clavero, M.-E.; Duskayev, K.K. Evaluation of Reservoir Inflows Using Semi-Distributed Hydrological Modeling Techniques: Application to the Esil and Moildy Rivers' Catchments in Kazakhstan. *Water* 2023, 15, 2967. <https://doi.org/10.3390/w15162967>
88. Kalashnikova, O. Y., Gafurov, A. (2017): Water availability forecasting for Naryn River using ground-based and satellite snow cover data (in Russian). - *Ice and snow*, 57, 4, DOI: <http://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-4-507-517>
89. Gafurov A., Kalashnikova O., Apel H. Hydrological forecast based on the snow cover index, derived from basin-wide and elevation specific remote sensing snow cover data in mountainous basins. *Geophysical Research Abstracts*. 2019, Vol. 21, p.1.
90. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики, УФН, 2000, 419-445
91. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
92. Груз Г.В., Ранькова Э.Я. Климат России: потепление продолжается». *Наука и жизнь*, №11, 2003
93. Оценочный доклад об изменениях климата на территории Казахстана // РГП «Казгидромет». – Астана, 2014. – 55 с.
94. Большаков В.А. Новая концепция орбитальной теории палеоклимата. М.: 2003, 256 с.
95. 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>

96. 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
97. 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
98. 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
99. 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
100. Попова В.В., 2004. Структура многолетних колебаний высоты снежного покрова в Северной Евразии. - Метеорология и гидрология, №8, с.78-88
101. Razuvaev V.N., Bulygina O.N. 2006. 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
102. Brutel-Vuilmet, C., Ménégoz, M., and Krinner, G., 2013: An analysis of present and future seasonal Northern Hemisphere land snow cover simulated by CMIP5 coupled climate models, The Cryosphere, 7, 67–80, <https://doi.org/10.5194/tc-7-67-2013>
103. Kong Y., Ch.-H Wang Responses and changes in the permafrost and snow water equivalent in the Northern Hemisphere under a scenario of 1.5 °C warming. Advances in Climate Change Research. Volume 8, Issue 4, December 2017, Pages 235-244. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2017.07.002>
104. Shi, H. X. and Wang, C. H., 2015: Projected 21st century changes in snow water equivalent over Northern Hemisphere landmasses from the CMIP5 model ensemble, The Cryosphere, 9, 1943–1953, <https://doi.org/10.5194/tc-9-1943-2015>
105. You, Q., F. Wu, H. Wang, Z. Jiang, N. Pepin, and S. Kang, 2020: Projected Changes in Snow Water Equivalent over the Tibetan Plateau under Global Warming of 1.5° and 2°C. J. Climate, 33, 5141–5154, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0719.1>
106. Ji, Z., and S. Kang, 2013: Projection of snow cover changes over China under RCP scenarios. Climate Dyn., 41, 589–600, <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1473-2>
107. Wei, Z. G., and W. J. Dong, 2015: Assessment of simulations of snow depth in the Qinghai-Tibetan Plateau using CMIP5 multi-models. Arct. Antarct. Alp. Res., 47, 611–625, <https://doi.org/10.1657/AAAR0014-050>
108. Krasting, J. P., A. J. Broccoli, K. W. Dixon, and J. R. Lanzante, 2013: Future Changes in Northern Hemisphere Snowfall. J. Climate, 26, 7813–7828, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00832.1>
109. IPCC sixth assessment report. Working Group I – The Physical Science Basis. Regional fact sheet - Asia. – 2021. – 2 p. URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Regional\\_Fact\\_Sheet\\_Asia.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_Asia.pdf) (дата обращения: 20.09.2021)

110. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. // [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.). - Cambridge University Press. - 2021. – 42 p.
111. Tian D., Dong W. J., Zhang H., Guo Y., Yang S. L., Dai T. L. Future changes in coverage of 1,5°C and 2°C warming thresholds // Science Bulletin. – 2017. – Vol. 62(21). – P. 1445–1463. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.scib.2017.09.023> (дата обращения 07.08.2021)
112. Wang Z.L., Lin L., Zhang X.Y., Zhang H., Liu L.K., Xu Y.Y. Scenario dependence of future changes in climate extremes under 1,5°C and 2°C global warming // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7,46432. – URL: <https://doi.org/10.1038/srep46432> (дата обращения 12.08.2021)
113. Xu Y., Zhou B.T., Wu J., Han Z.Y., Zhang Y.X., Wu J. Asian climate change under 1.5–4°C warming targets // Advances in Climate Change Research. – 2017. – Vol. 13(4). – P. 306–315. – URL: <https://doi.org/10.12006/j.issn.1673-1719.2016.239> (дата обращения 12.08.2021)
114. Всемирный экономический форум. Отчет о глобальных рисках в 2021 году. – URL: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2021.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf) (дата обращения 04.10.2021)
115. Специальный доклад о последствиях глобального потепления на 1,5 °C выше доиндустриальных уровней и о соответствующих траекториях глобальных выбросов парниковых газов в контексте укрепления глобального реагирования на угрозу изменения климата, а также устойчивого развития и усилий по искоренению бедности // ВМО. – Женева, 2018. – 163 с.
116. Karmalkar A.V., Bradley R.S. Consequences of global warming of 1.5 °C and 2 °C for regional temperature and precipitation changes in the contiguous United States // PLoSOne, 12, e0168697. – 2017. – 17 p. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168697> (дата обращения 07.08.2021)
117. WMO. The Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019), 2021. – WMO-№1267. – 90 p. – URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10769](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10769) (дата обращения: 13.07.2021)
118. Raftery A.E., Zimmer A., Frierson D., Startz R., Liu P. Less than 2 °C warming by 2100 unlikely // Nature Climate Change. – 2017. – Vol. 7. – P. 637–641. – URL: <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3352> (дата обращения 20.08.2021)
119. 8-е национальное сообщение и 5-й двухгодичный доклад Республики Казахстан Рамочной Конвенции ООН об Изменении Климата. Астана, 2022 - 491 с.

120. Ta Z., Yu R., Chen X., Mu G., Guo Y. Analysis of the Spatio-Temporal Patterns of Dry and Wet Conditions in Central Asia // Atmosphere. 9(1):7. – 2018. – 14 p. – URL: <https://doi.org/10.3390/atmos9010007> (дата обращения: 10.09.2021)
121. State of the Climate in Asia // World Meteorological Organization, WMO-No. 1321, 39 p. <https://library.wmo.int/idurl/4/66314>
122. Salnikov V., Turulina G., Talanov Y., Polyakova S., Tazhibayeva T., Dolgikh S., Skakova A. (2015). The large-scale atmospheric processes and drought in Kazakhstan. Bulletin d'EUROTALENT-FIDJIP, 2015. –N8. –P.14-18
123. Исследование по оценке засухи и моделей мониторинга засух в Центральном Казахстане // Центр по чрезвычайным ситуациям и снижению риска стихийных бедствий; рук. В.Г. Сальников, А. Подрезов, Астана, 2020, 57 с. <https://cesdr.org/>
124. Karatayev M., Clarke M., Salnikov V., Bekseitova R. Monitoring climate change, drought conditions and wheat production in Eurasia: the case study of Kazakhstan. Helion 8, 2020, e08660 p. 1-13 [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(21\)02763-8.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(21)02763-8.pdf)
125. Shmelev, S.E.; Salnikov, V.; Turulina, G.; Polyakova, S.; Tazhibayeva, T.; Schnitzler, T.; Shmeleva, I.A. Climate Change and Food Security: The Impact of Some Key Variables on Wheat Yield in Kazakhstan. Sustainability 2021, 13, 8583. <https://doi.org/10.3390/su13158583>
126. Кожамбетов П.Ж., Никифорова Л.Н. Погодные стихии в Казахстане в условиях глобального изменения климата. – Астана, 2016. – 36 с.
127. Абаев Н., Серікбай Н., Тілләкәрім Т., Елтай А. Анализ экстремальных гидрологических явлений на территории Республики Казахстан // International Scientific Conference «Global Challenges for Global Science II» Sofia, BULGARIA, November 25, 2022, 106-110 с.
128. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2021 год (2022), РГП «Казгидромет», Астана, 76 с.
129. 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.
130. Гальперин Р.И., Медеу А.Р., Достай Ж. Д. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Т. VII. Ресурсы речного стока Казахстана. Кн. 1. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод западного, северного, центрального и восточного Казахстана - Алматы, 2012. – 684 с.
131. Физико-географическое районирование ССР. Характеристика региональных единиц / Под ред. Н.А. Гвоздецкого. – М.: Изд-во МГУ, 1968. – 576 с.
132. Батршина С.Ф. Динамика снежного покрова на территории Татарстана во второй половине XX столетия // диссертация на соискание ученой степени <https://www.dissercat.com/content/dinamika-snezhnogo-pokrova-na-territorii-tatarstana-vo-vtoroi-polovine-xx-stoletiya>

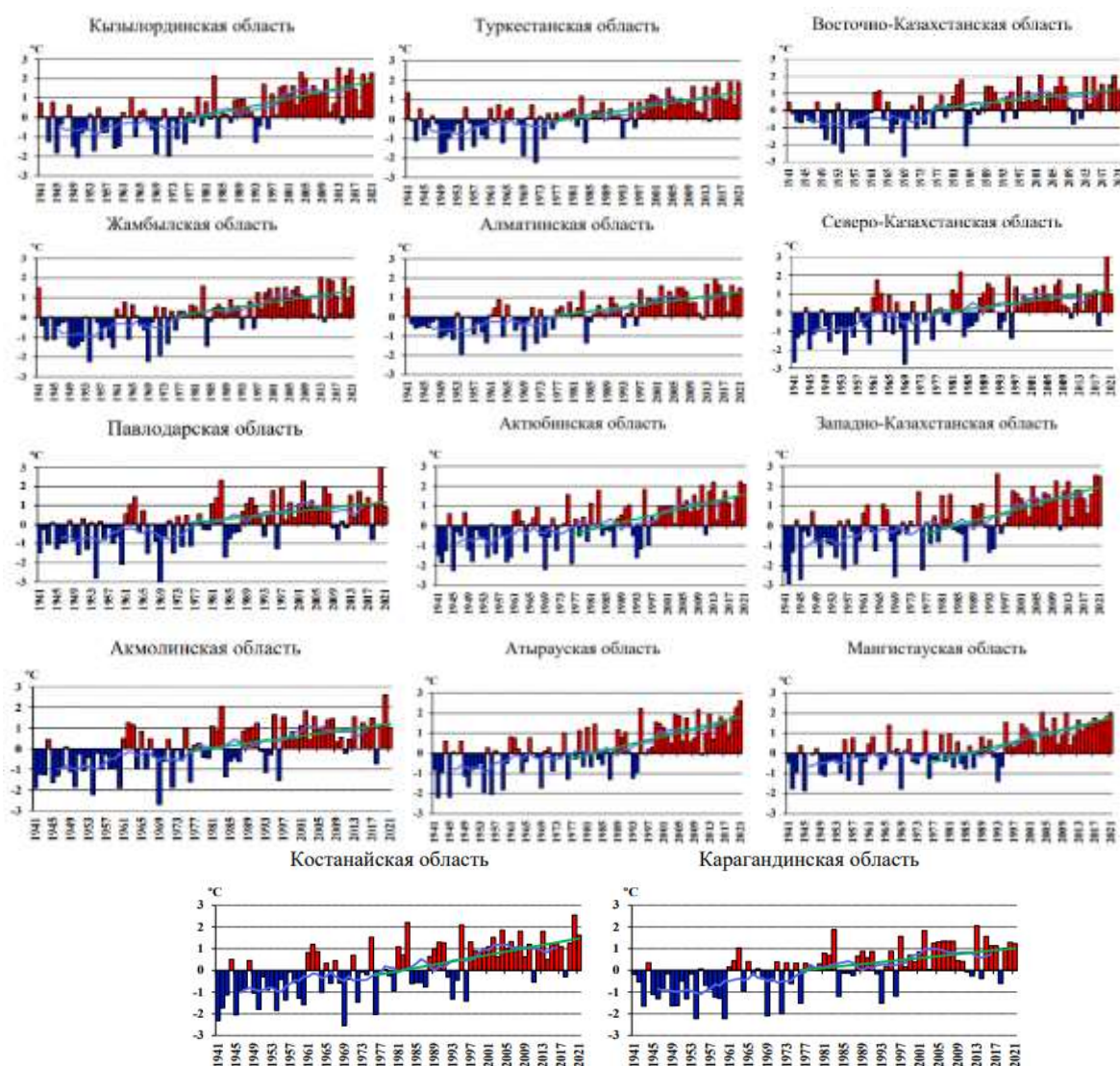
133. Жуков А.Л. Математическое моделирование характеристик снежного покрова на основе метода грануляции // диссертация на соискание ученой степени <https://www.dissercat.com/content/matematicheskoe-modelirovanie-kharakteristik-snezhnogo-pokrova-na-osnove-metoda-granulyatsii>
134. Шульгин А.М. Снежный покров и его использование в сельском хозяйстве-Л.: Гидрометеиздат, 1962. 84 с.
135. Шумский П.А. Основы структурного ледоведения М.: Изд-во АН СССР, 1955. 492 с.
136. Утешев А.С. Климат Казахстана / Гидрометеиздат, Л.: 1959, 371 с.
137. 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
138. Гельфан А.Н., Морейдо В.М. Описание макромасштабной структуры поля снежного покрова равнинной территории с помощью динамико-стохастической модели его формирования // Лед и снег, Т. 44, №4, 2015, 61-72 с.
139. Кучмент Л. С., Романов П. Ю., Гельфан А. Н., Демидов В. Н. (2009). Оценка характеристик снежного покрова путем совместного использования моделей и спутниковой информации. Исследование земли из космоса, № 4, с. 47–56
140. 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
141. Лобанов В.А., Жильцова Е.Л., Лемешко Н.А., Горлова С.А., Ренева С.А. (2005). Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на европейской территории России. Метеорология и гидрология, №2, 5-14 с.
142. Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду. – Л., Гидрометеиздат, 1979, 64 с.
143. Кобышева Н.В., Л.П. Галюк, Фасолько Д.В. Методика расчета экстремумов временных метеорологических рядов в условиях нестационарности климатических изменений // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, № 590, 2018, 130-143 с.
144. Руководство по климатологической практике № 100, 2014, 1015 с.
145. Горошков И. Ф. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 430 с.
146. Mann, H.B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259
147. Kendall, M.G. (1975). Rank Correlation Measures. Ed. Charles Griffin. London
148. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель, Кокчетавская область (1959) // Гидрометеиздат, Ленинград, III том, 306.

149. Тиллакарим, Т., Кауазов, А., Гафуров, А., (2023). Динамика изменения запасов воды в снежном покрове в Есильском водохозяйственном бассейне. Центральназиатский журнал исследований водных ресурсов, 9(2), 1-16. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-2/1-16.rus>
150. Ресурсы поверхностных вод СССР. Карагандинская область. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т.13, Вып. 1. – 482 с.
151. Тиллакарим, Т., Кауазов, А., Гафуров, А., Саиров С. Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында қар жамылғысы ылғал қорының уақыттық-кеңістіктік өзгеруі // Ізденістар, нәтижелер, №3, (99), 2023
152. Abatzoglou, J. T. et al. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. Sci. Data 5:170191 doi: 10.1038/sdata.2017.191 (2018).
153. Climatology Lab ресми сайты: <https://www.climatologylab.org/terraclimate.html>
154. Terra Climate реанализ деректерінің қар жамылғысы ылғал қоры мәліметтерінің қолданылуы туралы // «ФАРАБИ ӘЛЕМІ» атты студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференция МАТЕРИАЛДАРЫ Алматы, Қазақстан, 2023 жылдың 6-8 сәуірі
155. Gafurov Abror Snow monitoring and hydrological forecasting in Central Asia, 2022, 47 p.
156. Martinec, J. 1960. The degree-day factor for snowmelt runoff forecasting. IUGG General Assembly of Helsinki, IAHS Publ. No. 51, 468-477
157. Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10, 282-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
158. ASCE. 1993. Criteria for evaluation of watershed models. J. Irrigation Drainage Eng. 119(3): 429-442
159. Legates, D. R., and G. J. McCabe. 1999. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water Resources Res. 35(1): 233-241
160. Sevat, E., and A. Dezetter. 1991. Selection of calibration objective functions in the context of rainfall-runoff modeling in a Sudanese savannah area. Hydrological Sci. J. 36(4): 307-330
161. Singh, J., H. V. Knapp, and M. Demissie. 2004. Hydrologic modeling of the Iroquois River watershed using HSPF and SWAT. ISWS CR 2004-08. Champaign, Ill.: Illinois State Water Survey. Available at: [www.sws.uiuc.edu/pubdoc/CR/ISWSCR2004-08.pdf](http://www.sws.uiuc.edu/pubdoc/CR/ISWSCR2004-08.pdf). Accessed 8 September 2005
162. Gupta, H. V., S. Sorooshian, and P. O. Yapo. 1999. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. J. Hydrologic Eng. 4(2): 135
163. D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, T. L. Veith Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007, Vol. 50(3): 885–900

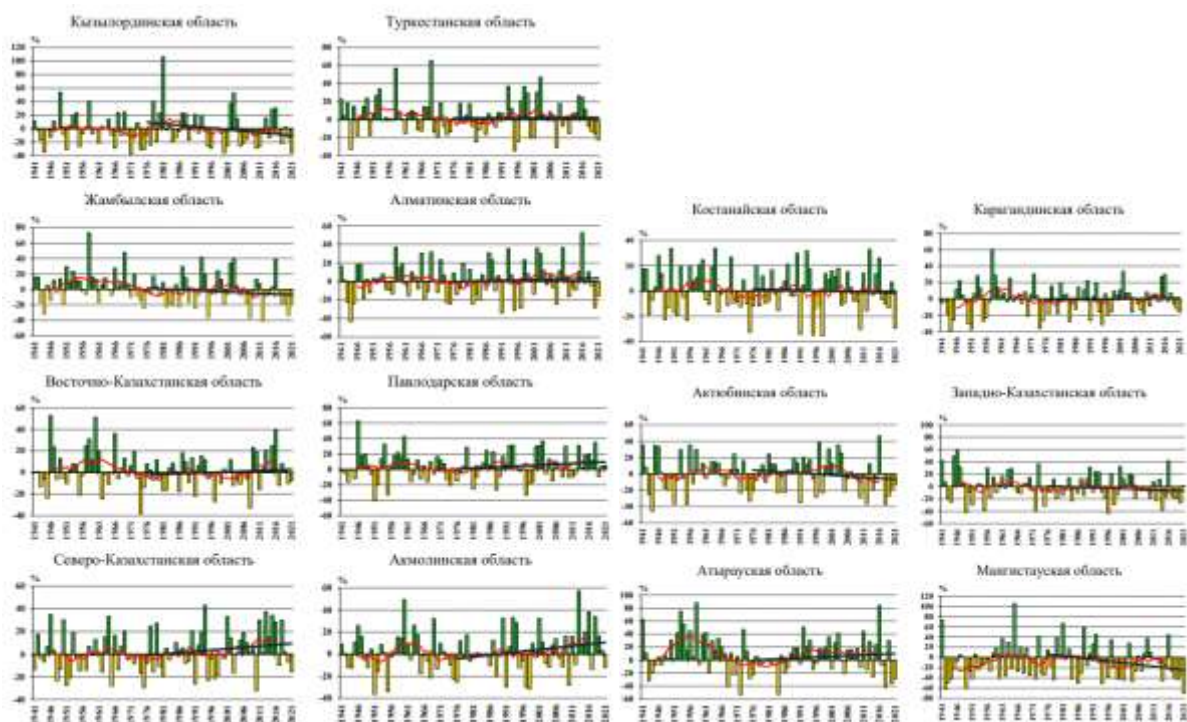
164. Tillakarim T.A., Gafurov A., Kauazov A.M. Results of modelling of snow water equivalent with using MODSNOW model in Esil river management basin // Hydrometeorology and ecology, №4, 2023, 7-15 pp.
165. Almazroui, M., Islam, M.N., Saeed, S. et al. Future Changes in Climate over the Arabian Peninsula based on CMIP6 Multimodel Simulations. *Earth Syst Environ* 4, 611–630 (2020). <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00183-5>
166. O'Neill B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., and Sanderson, B. M.: The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6, *Geosci. Model Dev.*, 9, 2016, 3461–3482, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
167. Solomon S., Qin D., Manning M., Alley R.B., Berntsen T., Bindoff N.L., Chen Z., Chidthaisong A., Gregory J.M., Hegerl G.C., Heimann M., Hewitson B., Hoskins B.J., Joos F., Jouzel J., Kattsov V., Lohmann U., Matsuno T., Molina M., Nicholls N., Overpeck J., Raga G., Ramaswamy V., Ren J., Rusticucci M., Somerville R., Stocker T.F., Whetton P., Wood R.A. and Wratt D., 2007: Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M and Miller H.L.(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
168. Volodin E. The Mechanisms of Cloudiness Evolution Responsible for Equilibrium Climate Sensitivity in Climate Model INM-CM4-8. *Geophysical Research Letters* Volume 48, Issue 24, 2021 e2021GL096204. <https://doi.org/10.1029/2021GL096204>
169. Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C., Stevens, B., Stouffer, R. J., and Taylor, K. E.: Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organisation, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 8, 10539-10583, doi:10.5194/gmdd-8-10539-2015
170. Malte Meinshausen, Zebedee R. J. Nicholls, Jared Lewis, Matthew Gidden, Elisabeth Vogel, Mandy Freund, Urs Beyerle, Claudia Gessner, Alexander Nauels, Nico Bauer, Josep G. Canadell, John S. Daniel, Andrew John, Paul B. Krummel, Gunnar Luderer, Nicolai Meinshausen, Stephen A. Montzka, Peter J. Rayner, Stefan Reimann, Steven J. Smith, Marten van den Berg, Guus J. M. Velders, Martin K. Vollmer, and Ray H. J. Wang. The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geosci. Model Dev.*, 13, 3571–3605, 2020 <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
171. Cucchi M., Weedon G.P., Amici A., Bellouin N., Lange S., Schmied H.M., Herbach H., Buontempo WFDE5: bias adjusted ERA5 reanalysis data for impact studies // *Earth System science data*, 2020, 1-32 <https://doi.org/10.5194/essd-2020-28>
172. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Hornyi, A., Munoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., Chiara, G. D., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J.,

- Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R. J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., and Thépaut, 430 J.-N.: The ERA5 Global Reanalysis, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146, 2020
173. Adler, R. F., Huffman, G. J., Chang, A., Ferraro, R., Xie, P.-P., Janowiak, J., Rudolf, B., Schneider, U., Curtis, S., Bolvin, D., Gruber, A., Susskind, J., Arkin, P., and Nelkin, E.: The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979–Present), *Journal of Hydrometeorology*, 4, 1147–1167, 2003
174. Homogenization and Quality Control // WMO-TD. – Женева, 2008. – №1576. – 127 p.
175. Цепелев В.Ю. Классификация прогностического ансамбля как метод повышения качества долгосрочного прогноза погоды // *Оптика атмосферы и океана*, 36, №4, 2023, 313-319 с. DOI: 10.15372/AOO20230408
176. Cloke, H.L., Wetterhall, F., He, Y., Freer, J.E. and Pappenberger, F. (2013), Modelling climate impact on floods with ensemble climate projections. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 139: 282-297. <https://doi.org/10.1002/qj.1998>
177. А.Г. Терехов, Н.Н. Абаев, Т.А. Тиллакарим, Н. Серікбай О взаимосвязи между количеством снега и объёмом весеннего половодья в Северном Казахстане // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2023. Т. 20. №1. С. 323–328 DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-323-328

## ҚОСЫМША А (2-тарау)



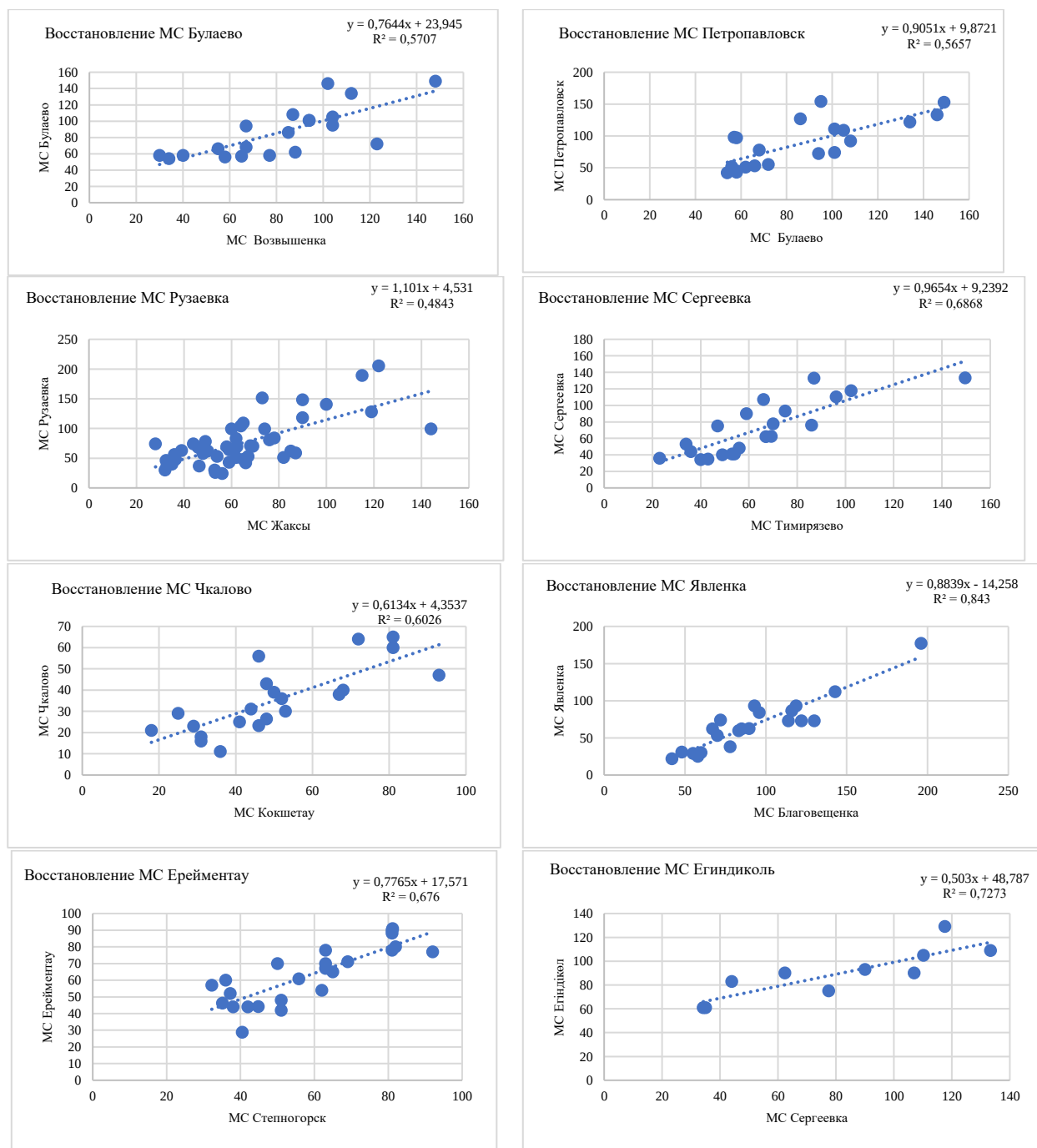
1-сурет А-қосымшасы. 1941-2021 жылдар кезеңінде Қазақстанның облыстары бойынша орташаланған жылдық ауа температурасының (°C) ауытқуларының уақыт қатарлары. аномалиялар 1961-1990 жылдардағы базалық кезеңге қатысты есептелген. 1976-2021 жылдардағы сызықтық тренд жасыл түспен ерекшеленеді. Тегістелген қисық 11 жылдық жылжымалы орташадан алынған



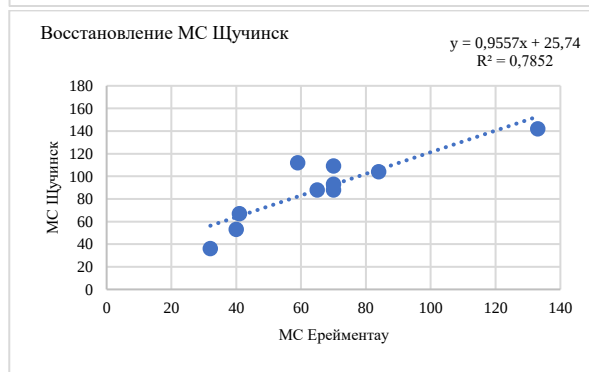
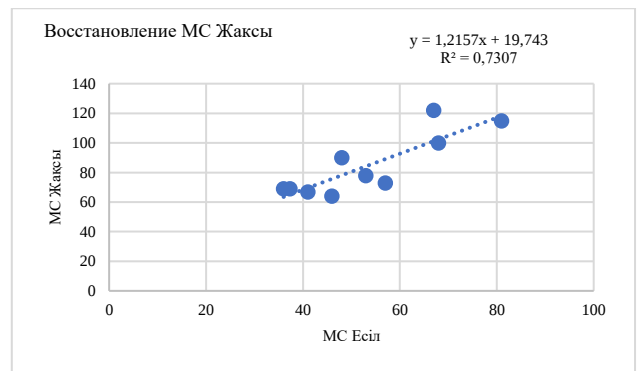
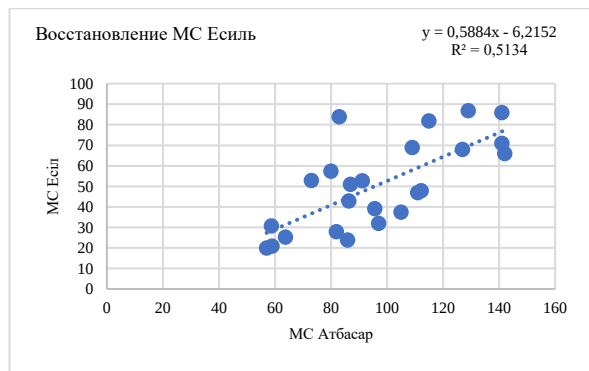
2-сурет А-қосымшасы. 1941 - 2021 жылдар кезеңіндегі жауын-шашынның жылдық сомалары (%) ауытқуларының Қазақстан облыстары бойынша кеңістікте орташаланған уақыттық қатарлары.

Ауытқулар 1961-1990 жылдардағы базалық кезеңге қатысты есептелген. 1976-2021 жылдардағы сызықтық тренд қара түспен ерекшеленеді. Тегістелген қисық 11 жылдық жылжымалы орташадан алынған

## ҚОСЫМША Ә (3-тарау)



Сурет 1 (а) Ә-қосымшасы. Есіл сушаруашылығы алабындағы станциялардың мәліметтерін қалпына келтірудің байланыс графиктері



Сурет 1 (б) Ә-қосымшасы. Есіл сушаруашылығы алабындағы станциялардың мәліметтерін қалпына келтірудің байланыс графиктері

Кесте 1 Қосымша Ә – Есіл сушаруашылық алабында орналасқан метеорологиялық станциялардың 1970-2019 жж. қар жамылғысындағы максималды ылғал қорының уақыттық қатарлары

| Жылдар    | Метеорологиялық станция |         |           |            |               |          |            |           |         |            |         |         |       |        |         |           |            |            |       |       |        |          |             |         |
|-----------|-------------------------|---------|-----------|------------|---------------|----------|------------|-----------|---------|------------|---------|---------|-------|--------|---------|-----------|------------|------------|-------|-------|--------|----------|-------------|---------|
|           | Благовещенка            | Булаево | Возышенка | Кишкенколь | Петропавловск | Рузаевка | Саумалколь | Сергеевка | Тайынша | Тимирязево | Чкалово | Явленка | Аколь | Аршалы | Атбасар | Балкашино | Егиндиколь | Ерейментау | Есиль | Жаксы | Жалтыр | Кокшетау | Степногорск | Щучинск |
| 1970-1971 | 122,0                   | 82,0    | 81,0      | 82,0       | 108,0         | 56,0     | 65,0       | 114,0     | 40,0    | 104,0      | 24,0    | 84,0    | 64,0  | 31,0   | 86,0    | 144,0     | 106,1      | 54,0       | 24,0  | 36,0  | 112,0  | 67,0     | 62,0        | 70,0    |
| 1971-1972 | 115,0                   | 59,0    | 98,0      | 50,0       | 73,0          | 30,0     | 38,0       | 53,0      | 18,0    | 44,0       | 48,0    | 42,0    | 63,0  | 37,0   | 73,0    | 121,0     | 75,4       | 78,0       | 53,0  | 53,0  | 115,0  | 42,0     | 81,0        | 36,0    |
| 1972-1973 | 86,0                    | 82,0    | 105,0     | 105,0      | 105,0         | 51,0     | 93,0       | 84,0      | 49,0    | 61,0       | 36,0    | 78,0    | 102,0 | 39,0   | 97,0    | 159,0     | 91,0       | 80,0       | 32,0  | 82,0  | 105,0  | 52,0     | 82,0        | 73,0    |
| 1973-1974 | 49,0                    | 62,0    | 57,0      | 107,0      | 80,0          | 44,0     | 53,0       | 40,0      | 37,0    | 45,0       | 22,0    | 38,0    | 75,0  | 25,0   | 57,0    | 126,0     | 70,0       | 78,0       | 20,0  | 33,0  | 86,0   | 30,0     | 63,0        | 45,0    |
| 1974-1975 | 70,0                    | 92,0    | 102,0     | 136,0      | 81,0          | 42,0     | 67,0       | 76,0      | 40,0    | 50,0       | 34,0    | 55,0    | 96,0  | 21,0   | 59,0    | 136,0     | 77,0       | 44,0       | 21,0  | 66,0  | 143,0  | 32,0     | 42,0        | 40,0    |
| 1975-1976 | 69,0                    | 82,0    | 74,0      | 99,0       | 48,0          | 40,0     | 42,0       | 76,0      | 49,0    | 73,0       | 23,0    | 51,0    | 99,0  | 42,0   | 82,0    | 149,0     | 92,0       | 60,0       | 28,0  | 35,0  | 78,0   | 24,0     | 36,0        | 62,0    |
| 1976-1977 | 89,0                    | 104,0   | 99,0      | 122,0      | 89,0          | 64,0     | 94,0       | 112,0     | 46,0    | 101,0      | 75,0    | 96,0    | 102,0 | 80,0   | 111,0   | 103,0     | 104,0      | 77,0       | 47,0  | 59,0  | 105,0  | 78,0     | 92,0        | 86,0    |
| 1977-1978 | 72,2                    | 93,0    | 73,6      | 43,6       | 62,1          | 30,0     | 91,0       | 57,8      | 33,8    | 72,0       | 21,6    | 52,5    | 45,5  | 13,2   | 58,8    | 136,4     | 63,0       | 28,8       | 30,8  | 32,0  | 56,0   | 33,6     | 40,5        | 52,8    |
| 1978-1979 | 72,0                    | 101,5   | 68,2      | 97,2       | 61,6          | 62,0     | 72,5       | 99,0      | 36,0    | 95,7       | 29,7    | 57,8    | 159,5 | 105,6  | 112,2   | 168,0     | 96,0       | 91,0       | 48,0  | 85,0  | 108,8  | 36,3     | 81,2        | 75,6    |
| 1979-1980 | 80,6                    | 84,0    | 110,7     | 75,0       | 54,6          | 48,0     | 88,8       | 126,0     | 61,6    | 99,2       | 36,0    | 139,4   | 91,2  | 28,8   | 63,8    | 105,0     | 78,2       | 52,0       | 25,4  | 36,4  | 60,8   | 35,0     | 37,2        | 81,0    |
| 1980-1981 | 57,5                    | 64,4    | 79,2      | 61,2       | 54,0          | 46,0     | 52,0       | 47,6      | 36,0    | 43,7       | 23,4    | 67,6    | 61,2  | 52,5   | 91,2    | 270,6     | 92,0       | 57,0       | 52,8  | 32,5  | 59,4   | 26,4     | 32,2        | 28,6    |
| 1981-1982 | 47,6                    | 81,6    | 46,5      | 44,0       | 50,4          | 36,8     | 60,0       | 78,0      | 46,0    | 58,8       | 39,2    | 161,0   | 75,4  | 32,0   | 86,4    | 110,4     | 70,4       | 44,2       | 42,9  | 46,4  | 69,3   | 34,2     | 44,8        | 83,7    |
| 1982-1983 | 67,5                    | 89,1    | 61,2      | 99,0       | 85,8          | 24,0     | 63,0       | 88,4      | 43,5    | 32,4       | 33,0    | 84,2    | 154,0 | 64,8   | 105,0   | 182,9     | 54,4       | 60,8       | 37,4  | 56,1  | 104,4  | 10,8     | 55,8        | 78,4    |
| 1983-1984 | 40,6                    | 50,0    | 70,4      | 62,0       | 38,4          | 26,0     | 52,8       | 72,0      | 36,4    | 58,8       | 44,8    | 36,0    | 62,7  | 42,0   | 95,7    | 147,2     | 52,2       | 46,2       | 39,2  | 53,2  | 39,2   | 30,8     | 35,1        | 62,5    |
| 1984-1985 | 79,8                    | 58,8    | 88,4      | 92,4       | 50,6          | 46,4     | 85,8       | 72,0      | 62,1    | 80,6       | 110,2   | 134,4   | 121,8 | 83,2   | 80,0    | 137,2     | 74,8       | 88,3       | 57,4  | 35,3  | 62,7   | 45,9     | 81,0        | 140,8   |
| 1985-1986 | 105,0                   | 65,0    | 107,0     | 96,0       | 129,0         | 62,0     | 66,0       | 87,0      | 55,0    | 73,0       | 73,0    | 115,0   | 141,0 | 63,0   | 141,0   | 186,0     | 70,0       | 90,0       | 86,0  | 50,0  | 93,0   | 31,0     | 81,0        | 108,0   |
| 1986-1987 | 78,0                    | 85,0    | 98,0      | 180,0      | 81,0          | 58,0     | 72,0       | 90,0      | 57,0    | 60,0       | 50,0    | 142,0   | 116,0 | 74,0   | 141,0   | 174,0     | 99,0       | 65,0       | 71,0  | 48,0  | 99,0   | 44,0     | 65,0        | 65,0    |
| 1987-1988 | 84,0                    | 95,0    | 86,0      | 129,0      | 124,0         | 53,0     | 80,0       | 75,0      | 58,0    | 60,0       | 78,0    | 123,0   | 132,0 | 73,0   | 115,0   | 171,0     | 94,0       | 67,0       | 82,0  | 54,0  | 99,0   | 40,0     | 63,0        | 99,0    |
| 1988-1989 | 61,0                    | 70,0    | 72,0      | 122,0      | 139,0         | 104,0    | 61,0       | 115,0     | 40,0    | 68,0       | 50,0    | 57,0    | 115,0 | 58,0   | 129,0   | 162,0     | 95,0       | 44,0       | 87,0  | 64,0  | 93,0   | 49,0     | 38,0        | 42,0    |
| 1989-1990 | 81,0                    | 122,0   | 56,0      | 138,0      | 105,0         | 48,0     | 81,0       | 90,0      | 65,0    | 58,0       | 36,0    | 54,0    | 160,0 | 180,0  | 142,0   | 207,0     | 118,0      | 71,0       | 66,0  | 65,0  | 123,0  | 46,0     | 69,0        | 55,0    |

| Жылдар    | Метеорологиялық станция |         |           |             |               |          |            |           |         |            |         |         |        |        |         |           |            |            |       |       |        |          |             |         |
|-----------|-------------------------|---------|-----------|-------------|---------------|----------|------------|-----------|---------|------------|---------|---------|--------|--------|---------|-----------|------------|------------|-------|-------|--------|----------|-------------|---------|
|           | Благовещенка            | Булаево | Возышенка | Кишкенеколь | Петропавловск | Рузаевка | Саумалколь | Сергеевка | Тайынша | Тимирязево | Чкалово | Явленка | Ақколь | Аршалы | Ағбасар | Балқашино | Егиндиколь | Ерейментау | Есиль | Жаксы | Жалтыр | Кокшетау | Степногорск | Щучинск |
| 1990-1991 | 63,0                    | 58,3*   | 45,0      | 39,0        | 68,0          | 71,0     | 45,0       | 52,0      | 30,0    | 53,0       | 26,0    | 54,0    | 96,0   | 75,0   | 127,0   | 185,0     | 84,0       | 70,0       | 68,0  | 68,0  | 102,0  | 36,0     | 50,0        | 74,0    |
| 1991-1992 | 99,0                    | 105,0   | 104,0     | 72,0        | 109,0         | 63,0     | 61,0       | 93,0      | 36,0    | 44,0       | 11,0    | 69,0    | 125,0  | 106,0  | 109,0   | 160,0     | 108,0      | 70,0       | 69,0  | 39,0  | 94,0   | 35,0     | 63,0        | 109,0   |
| 1992-1993 | 67,0                    | 101,0   | 94,0      | 28,0        | 111,0         | 69,0     | 81,0       | 106,0     | 49,0    | 60,0       | 25,0    | 58,0    | 143,0  | 49,0   | 87,0    | 133,0     | 102,0      | 48,0       | 51,0  | 58,0  | 106,0  | 35,0     | 51,0        | 96,0    |
| 1993-1994 | 72,0                    | 95,0    | 104,0     | 76,0        | 154,0         | 74,0     | 150,0      | 150,0     | 62,0    | 73,0       | 36,0    | 86,0    | 115,0  | 49,0   | 83,0    | 152,0     | 77,0       | 42,0       | 84,0  | 44,0  | 94,0   | 67,0     | 51,0        | 90,0    |
| 1994-1995 | 76,0                    | 101,0   | 94,0      | 51,0        | 74,0          | 83,0     | 95,0       | 62,0      | 49,0    | 51,0       | 47,0    | 52,9    | 78,0   | 60,0   | 74,0    | 137,0     | 92,0       | 45,5       | 74,0  | 62,0  | 83,0   | 34,0     | 36,0        | 139,0   |
| 1995-1996 | 75,0                    | 58,0    | 77,0      | 53,0        | 97,0          | 99,0     | 79,0       | 62,0      | 46,0    | 43,0       | 15,0    | 72,0    | 91,0   | 106,0  | 68,0    | 154,0     | 91,0       | 87,0       | 76,0  | 60,0  | 109,0  | 46,0     | 48,0        | 126,0   |
| 1996-1997 | 96,0                    | 86,0    | 85,0      | 38,0        | 127,0         | 109,0    | 83,0       | 67,2      | 65,0    | 60,0       | 31,0    | 84,0    | 129,0  | 61,0   | 104,0   | 160,0     | 84,0       | 26,0       | 93,0  | 65,0  | 109,0  | 85,0     | 52,0        | 130,0   |
| 1997-1998 | 85,0                    | 57,0    | 65,0      | 48,0        | 98,0          | 74,0     | 111,0      | 30,5      | 20,0    | 22,0       | 17,2    | 60,9    | 47,0   | 57,0   | 53,0    | 102,0     | 63,0       | 23,0       | 49,0  | 28,0  | 69,0   | 21,0     | 41,0        | 106,0   |
| 1998-1999 | 78,0                    | 72,0    | 123,0     | 47,0        | 55,0          | 99,0     | 119,0      | 93,0      | 64,0    | 75,0       | 47,0    | 38,0    | 109,0  | 91,0   | 109,0   | 125,0     | 70,0       | 31,0       | 108,0 | 74,0  | 86,0   | 93,0     | 50,0        | 112,0   |
| 1999-2000 | 60,0                    | 62,0    | 88,0      | 48,0        | 51,0          | 68,0     | 96,0       | 41,0      | 36,0    | 54,0       | 11,0    | 30,0    | 123,0  | 102,4  | 90,0    | 148,0     | 115,0      | 38,0       | 48,0  | 46,0  | 104,0  | 36,0     | 67,0        | 105,0   |
| 2000-2001 | 196,0                   | 149,0   | 148,0     | 234,0       | 153,0         | 128,0    | 159,0      | 133,0     | 108,0   | 87,0       | 65,0    | 177,0   | 149,0  | 86,0   | 117,0   | 199,0     | 92,0       | 52,0       | 76,0  | 119,0 | 150,0  | 81,0     | 91,0        | 133,0   |
| 2001-2002 | 72,0                    | 56,0    | 58,0      | 40,0        | 52,0          | 43,0     | 99,0       | 75,0      | 37,0    | 47,0       | 29,0    | 74,0    | 81,0   | 27,0   | 75,0    | 102,0     | 65,0       | 26,0       | 43,0  | 59,0  | 51,0   | 25,0     | 48,0        | 46,0    |
| 2002-2003 | 93,0                    | 134,0   | 112,0     | 73,0        | 122,0         | 81,0     | 96,0       | 48,0      | 78,0    | 56,0       | 39,0    | 93,0    | 78,0   | 72,0   | 74,0    | 146,0     | 80,0       | 61,0       | 46,0  | 76,0  | 109,0  | 50,0     | 56,0        | 81,0    |
| 2003-2004 | 67,0                    | 66,0    | 55,0      | 60,0        | 53,0          | 59,0     | 65,0       | 53,0      | 54,0    | 34,0       | 31,0    | 62,0    | 92,0   | 59,0   | 85,0    | 213,0     | 104,0      | 49,0       | 53,0  | 87,0  | 79,0   | 44,0     | 60,0        | 71,0    |
| 2004-2005 | 130,0                   | 108,0   | 87,0      | 61,0        | 92,0          | 99,0     | 119,0      | 76,0      | 68,0    | 86,0       | 38,0    | 73,0    | 128,0  | 45,0   | 109,0   | 188,0     | 90,0       | 30,0       | 75,0  | 144,0 | 97,0   | 67,0     | 68,0        | 80,0    |
| 2005-2006 | 55,0                    | 58,0    | 40,0      | 27,0        | 43,0          | 51,0     | 63,0       | 41,0      | 45,0    | 53,0       | 56,0    | 29,0    | 72,0   | 59,0   | 73,0    | 90,0      | 84,0       | 39,0       | 40,0  | 62,0  | 83,0   | 46,0     | 47,0        | 14,0    |
| 2006-2007 | 122,0                   | 146,0   | 102,0     | 75,0        | 133,0         | 148,0    | 83,0       | 62,1      | 65,0    | 67,0       | 36,0    | 73,0    | 145,0  | 34,0   | 114,0   | 154,0     | 109,0      | 52,0       | 77,0  | 90,0  | 96,0   | 52,0     | 79,0        | 75,4    |
| 2007-2008 | 58,0                    | 58,0    | 30,0      | 41,0        | 45,0          | 78,0     | 74,0       | 36,0      | 27,0    | 23,0       | 18,0    | 25,0    | 78,0   | 34,0   | 50,0    | 114,0     | 105,0      | 52,0       | 29,0  | 49,0  | 70,0   | 31,0     | 41,0        | 90,0    |
| 2008-2009 | 48,0                    | 54,0    | 34,0      | 70,0        | 42,0          | 69,0     | 35,0       | 39,9      | 37,0    | 49,0       | 25,0    | 31,0    | 76,0   | 55,0   | 42,0    | 67,0      | 85,0       | 103,0      | 35,0  | 62,3  | 60,0   | 41,0     | 59,0        | 50,0    |
| 2009-2010 | 70,0                    | 68,0    | 67,0      | 70,0        | 78,0          | 118,0    | 64,0       | 77,5      | 72,0    | 70,0       | 64,0    | 53,0    | 70,0   | 62,0   | 59,0    | 90,0      | 75,0       | 70,0       | 48,0  | 90,0  | 62,0   | 72,0     | 78,0        | 93,0    |
| 2010-2011 | 85,0                    | 94,0    | 67,0      | 144,0       | 72,5          | 70,0     | 78,0       | 44,0      | 39,2    | 36,0       | 16,0    | 62,0    | 67,0   | 46,0   | 50,0    | 122,0     | 83,0       | 40,0       | 36,0  | 69,0  | 86,0   | 31,0     | 55,0        | 53,0    |
| 2011-2012 | 89,7                    | 54,4    | 22,0      | 218,0       | 68,2          | 52,8     | 45,0       | 34,2      | 16,1    | 40,0       | 21,0    | 62,5    | 70,0   | 43,7   | 54,0    | 87,4      | 60,9       | 32,0       | 41,0  | 67,0  | 44,0   | 18,0     | 48,0        | 36,0    |

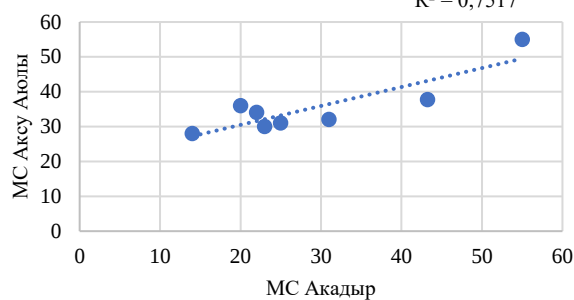
| Жылдар    | Метеорологиялық станция |         |            |             |               |             |            |           |         |            |         |         |        |        |         |           |            |            |             |       |        |          |             |         |
|-----------|-------------------------|---------|------------|-------------|---------------|-------------|------------|-----------|---------|------------|---------|---------|--------|--------|---------|-----------|------------|------------|-------------|-------|--------|----------|-------------|---------|
|           | Благовощенка            | Булаево | Возвышенка | Кишкенеколь | Петропавловск | Рузаевка    | Саумалколь | Сергеевка | Тайынша | Тимирязево | Чкалово | Явленка | Акколь | Аршалы | Агбасар | Балкашино | Егиндиколь | Ерейментау | Есиль       | Жаксы | Жалтыр | Кокшетау | Степногорск | Щучинск |
| 2012-2013 | 118,8                   | 82,5    | 78,2       | 161,0       | 87,0          | 140,6       | 113,4      | 117,6     | 69,0    | 102,3      | 60,0    | 93,0    | 126,9  | 67,2   | 101,4   | 153,0     | 129,0      | 133,0      | 68,0        | 100,0 | 133,0  | 81,0     | 83,0        | 142,0   |
| 2013-2014 | 83,2                    | 79,8    | 55,2       | 114,4       | 70,4          | 151,2       | 72,6       | 62,4      | 45,0    | 69,3       | 23,2    | 59,5    | 123,2  | 55,1   | 111,8   | 130,0     | 90,0       | 84,0       | 57,0        | 73,0  | 156,0  | 46,0     | 84,0        | 104,0   |
| 2014-2015 | 116,1                   | 101,2   | 68,2       | 95,2        | 99,0          | 205,2       | 108,0      | 110,2     | 54,0    | 96,1       | 26,4    | 86,4    | 98,4   | 55,0   | 107,5   | 153,9     | 105,0      | 70,0       | 67,0        | 122,0 | 133,0  | 48,0     | 39,0        | 88,0    |
| 2015-2016 | 142,8                   | 120,9   | 69,0       | 80,5        | 95,2          | 189,0       | 126,0      | 133,3     | 64,8    | 149,6      | 30,0    | 112,0   | 142,8  | 76,8   | 159,6   | 211,2     | 109,0      | 65,0       | 81,0        | 115,0 | 99,0   | 53,0     | 54,0        | 88,0    |
| 2016-2017 | 114,0                   | 104,0   | 68,0       | 211,0       | 108,0         | 84,0        | 172,0      | 107,0     | 63,0    | 66,0       | 40,0    | 73,0    | 140,0  | 63,0   | 126,0   | 174,0     | 90,0       | 59,0       | 53,0        | 78,0  | 112,0  | 68,0     | 67,0        | 112,0   |
| 2017-2018 | 42,0                    | 40,0    | 50,0       | 90,0        | 38,0          | <b>75,1</b> | 79,0       | 35,0      | 30,0    | 43,0       | 23,0    | 22,0    | 56,0   | 42,0   | 68,0    | 76,0      | 61,0       | 41,0       | 46,0        | 64,0  | 67,0   | 29,0     | 37,0        | 67,0    |
| 2018-2019 | 96,0                    | 97,0    | 27,0       | 70,0        | <b>97,7</b>   | <b>80,6</b> | 100,0      | 90,0      | 58,0    | 59,0       | 43,0    | 84,0    | 85,0   | 67,0   | 74,0    | 115,0     | 93,0       | 70,0       | <b>37,3</b> | 69,0  | 78,0   | 48,0     | 50,0        | 109,0   |
| 2019-2020 | 85,0                    | 79,0    | 32,0       | 88,0        | 56,0          | 110,0       | 85,0       | 44,0      | 62,0    | 66,0       | 24,0    | 28,0    | 77,0   | 49,0   | 92,0    | 54,0      | 64,0       | 49,0       | 52,0        | 77,0  | 59,0   | 33,0     | 35,0        | 79,0    |

\***58,3** – қою түспен белгіленген мәліметтер қалыпқа келтірілген

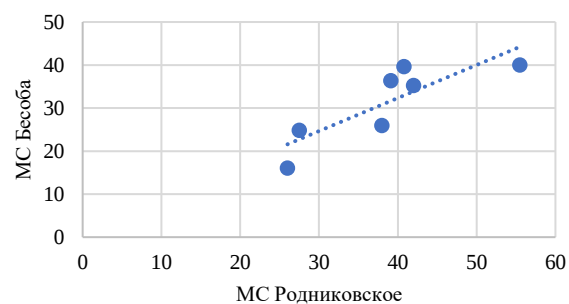
## Кесте 2 Қосымша Ә. Статистикалық сипаттамалардың нәтижесі

| Статистикалық сипаттама | Метеорологиялық станция |         |            |             |               |          |            |           |         |            |         |         |        |        |         |           |            |            |       |       |        |          |             |         |
|-------------------------|-------------------------|---------|------------|-------------|---------------|----------|------------|-----------|---------|------------|---------|---------|--------|--------|---------|-----------|------------|------------|-------|-------|--------|----------|-------------|---------|
|                         | Благовещенка            | Булаево | Возвышенка | Кишкенеколь | Петропавловск | Рузаевка | Саумалколь | Сергеевка | Тайынша | Тимирязево | Чкалово | Явленка | Акколь | Аршалы | Атбасар | Балкашино | Егиндиколь | Ерейментау | Есиль | Жаксы | Жалтыр | Кокшетау | Степногорск | Щучинск |
| Стандартты ауытқу       | 28,8                    | 25,0    | 26,3       | 49,0        | 31,3          | 39,7     | 29,7       | 30,0      | 17,0    | 23,9       | 19,6    | 35,0    | 31,9   | 28,6   | 28,1    | 39,6      | 17,4       | 22,4       | 21,0  | 25,1  | 26,6   | 18,6     | 16,8        | 31,1    |
| Жалпы саны              | 49,0                    | 49,0    | 49,0       | 49,0        | 49,0          | 49,0     | 49,0       | 49,0      | 49,0    | 49,0       | 49,0    | 49,0    | 49,0   | 49,0   | 49,0    | 49,0      | 49,0       | 49,0       | 49,0  | 49,0  | 49,0   | 49,0     | 49,0        | 49,0    |
| Стандартты кателік      | 4,1                     | 3,6     | 3,8        | 7,0         | 4,5           | 5,7      | 4,2        | 4,3       | 2,4     | 3,4        | 2,8     | 5,0     | 4,6    | 4,1    | 4,0     | 5,7       | 2,5        | 3,2        | 3,0   | 3,6   | 3,8    | 2,7      | 2,4         | 4,4     |
| Медиана                 | 78,0                    | 82,0    | 74,0       | 75,0        | 81,0          | 68,0     | 79,0       | 76,0      | 46,0    | 60,0       | 34,0    | 67,6    | 98,4   | 58,0   | 87,0    | 147,2     | 90,0       | 57,0       | 51,0  | 62,0  | 94,0   | 42,0     | 55,0        | 81,0    |
| Мода                    | 72,0                    | 82,0    | 98,0       | 70,0        | 108,0         | 99,0     | 65,0       | 76,0      | 49,0    | 60,0       | 36,0    | 84,0    | 78,0   | 42,0   | 109,0   | 174,0     | 92,0       | 70,0       | 53,0  | 59,0  | 86,0   | 46,0     | 81,0        | 36,0    |
| Экссесс                 | 3,7                     | 0,2     | 0,1        | 1,4         | -0,6          | 2,2      | 1,3        | -0,6      | 1,7     | 2,3        | 2,9     | 1,0     | -1,1   | 5,2    | -0,6    | 0,9       | -0,4       | 1,1        | -0,6  | 1,4   | -0,1   | 0,2      | -0,9        | -0,5    |
| Ассиметрия              | 1,5                     | 0,7     | 0,1        | 1,3         | 0,4           | 1,5      | 1,0        | 0,4       | 0,7     | 1,1        | 1,5     | 1,1     | 0,2    | 1,6    | 0,3     | 0,5       | 0,0        | 0,8        | 0,4   | 1,1   | 0,2    | 0,8      | 0,4         | 0,1     |
| Вариация коэффициенті   | 34,4                    | 30,0    | 34,3       | 54,9        | 37,2          | 52,6     | 35,9       | 38,8      | 34,8    | 37,7       | 52,3    | 47,4    | 31,4   | 47,5   | 30,7    | 27,2      | 19,9       | 38,0       | 38,4  | 38,9  | 28,7   | 41,3     | 29,0        | 38,1    |
| Максимум                | 196,0                   | 149,0   | 148,0      | 234,0       | 154,0         | 205,2    | 172,0      | 150,0     | 108,0   | 149,6      | 110,2   | 177,0   | 160,0  | 180,0  | 159,6   | 270,6     | 129,0      | 133,0      | 108,0 | 144,0 | 156,0  | 93,0     | 92,0        | 142,0   |
| Минимум                 | 40,6                    | 40,0    | 22,0       | 27,0        | 38,0          | 24,0     | 35,0       | 30,5      | 16,1    | 22,0       | 11,0    | 22,0    | 45,5   | 13,2   | 42,0    | 67,0      | 52,2       | 23,0       | 20,0  | 28,0  | 39,2   | 10,8     | 32,2        | 14,0    |
| Амплитуда               | 155,4                   | 109,0   | 126,0      | 207,0       | 116,0         | 181,2    | 137,0      | 119,5     | 91,9    | 127,6      | 99,2    | 155,0   | 114,5  | 166,8  | 117,6   | 203,6     | 76,8       | 110,0      | 88,0  | 116,0 | 116,8  | 82,2     | 59,8        | 128,0   |
| Сенімділік деңгейі      | 8,2                     | 7,2     | 7,6        | 14,1        | 9,1           | 11,5     | 8,4        | 8,7       | 4,8     | 6,8        | 5,6     | 10,1    | 9,3    | 8,2    | 8,0     | 11,5      | 5,0        | 6,4        | 6,0   | 7,2   | 7,6    | 5,4      | 4,8         | 8,9     |
|                         |                         |         |            |             |               |          |            |           |         |            |         |         |        |        |         |           |            |            |       |       |        |          |             |         |
| a2, мм/10 жыл           | 4,24                    | 1,37    | -6,54      | 3,77        | 0,35          | 17,8     | 7,88       | -2,29     | 2,74    | -0,24      | -1,69   | -3,17   | 1,18   | 2,3    | -0,29   | -4,77     | 2,08       | -0,85      | 3,62  | 9,48  | 0,24   | 2,63     | -0,34       | 5,49    |
| R2, %                   | 4,43                    | 0,61    | 12,67      | 1,21        | 0,03          | 41,03    | 14,39      | 1,19      | 5,29    | 0,02       | 1,52    | 1,67    | 0,28   | 1,32   | 0,02    | 2,97      | 2,94       | 0,29       | 6,07  | 29,12 | 0,02   | 4,09     | 0,08        | 6,35    |
| R2                      | 0,04                    | 0,01    | 0,13       | 0,01        | 0,00          | 0,41     | 0,14       | 0,01      | 0,05    | 0,00       | 0,02    | 0,02    | 0,00   | 0,01   | 0,00    | 0,03      | 0,03       | 0,00       | 0,06  | 0,29  | 0,00   | 0,04     | 0,00        | 0,06    |
| ФРАСПОБР                | 2,27                    | 0,3     | 7,11       | 0,6         | 0,01          | 34,09    | 8,23       | 0,59      | 2,74    | 0,01       | 0,76    | 0,83    | 0,14   | 0,66   | 0,01    | 1,5       | 1,49       | 0,14       | 3,17  | 20,13 | 0,01   | 2,09     | 0,04        | 3,33    |
|                         |                         |         |            |             |               |          |            |           |         |            |         |         |        |        |         |           |            |            |       |       |        |          |             |         |
| 1970-2019 жж.           | 84                      | 83      | 77         | 89          | 84            | 76       | 83         | 77        | 49      | 63         | 37      | 74      | 101    | 60     | 91      | 146       | 87         | 59         | 55    | 65    | 93     | 45       | 58          | 82      |
| 1970-1990 жж.           | 76,2                    | 82,6    | 82,5       | 89,8        | 85,9          | 52,0     | 71,5       | 85,6      | 45,3    | 65,3       | 41,0    | 80,6    | 104,8  | 59,3   | 97,2    | 155,2     | 85,2       | 62,8       | 51,0  | 51,3  | 92,0   | 40,0     | 58,2        | 73,1    |
| 1991-2019 жж.           | 90,7                    | 84,3    | 70,8       | 88,8        | 82,0          | 98,2     | 93,4       | 69,2      | 52,4    | 61,5       | 34,1    | 67,3    | 98,2   | 61,1   | 85,9    | 136,5     | 89,0       | 55,1       | 58,3  | 77,2  | 93,0   | 49,8     | 57,5        | 90,0    |

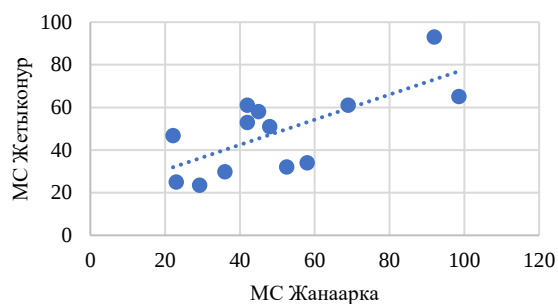
Восстановление МС Аксу Аюлы  $y = 0,5433x + 19,622$   
 $R^2 = 0,7517$



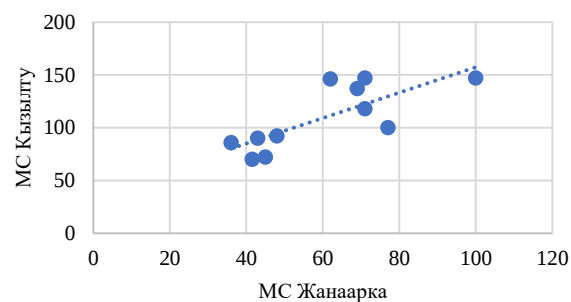
Восстановление МС Бесоба  $y = 0,7683x + 1,599$   
 $R^2 = 0,7039$



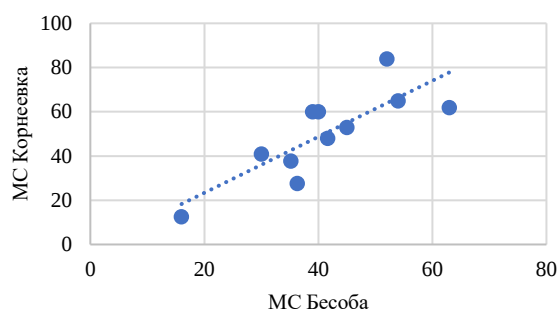
Восстановление МС Жетыконур  $y = 0,5894x + 18,884$   
 $R^2 = 0,505$



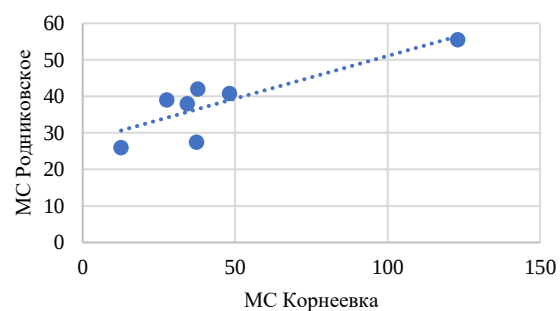
Восстановление МС Кызылту  $y = 1,2052x + 36,822$   
 $R^2 = 0,5929$



Восстановление МС Корнеевка  $y = 1,2671x - 1,9933$   
 $R^2 = 0,6629$



Восстановление МС Родниковское  $y = 0,2338x + 27,697$   
 $R^2 = 0,717$



Сурет 6 Қосымша Ә. Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабындағы станциялардың мәліметтерін қалпына келтірудің байланыс графиктері

Кесте 3 Қосымша Ә – Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында орналасқан метеорологиялық станциялардың 1970-2019 жж. қар жамылғысындағы максималды ылғал қорының уақыттық қатарлары

| Жылдар    | Қорғалжын | Ақадыр | Ақсу-Аюлы   | Бесоба | Жанаарқа | Жарық | Жезказған | Жетымқор    | Қарағанда | Қарағанда<br>СХОС | Кертинды | Қызылту      | Қорғасевка  | Родниковское |
|-----------|-----------|--------|-------------|--------|----------|-------|-----------|-------------|-----------|-------------------|----------|--------------|-------------|--------------|
| 1970-1971 | 75        | 23     | 30          | 45     | 57       | 99    | 80        | <b>52,5</b> | 58        | 115               | 94       | 101          | 53          | 26           |
| 1971-1972 | 82        | 25     | 31          | 54     | 92       | 69    | 54        | 93          | 59        | 118               | 31       | 218          | 65          | 28           |
| 1972-1973 | 133       | 31     | 32          | 52     | 69       | 87    | 81        | 61          | 117       | 76                | 51       | 165          | 84          | 14           |
| 1973-1974 | 75        | 20     | 36          | 40     | 42       | 54    | 27        | 61          | 73        | 71                | 36       | 166          | 60          | 21           |
| 1974-1975 | 86        | 14     | 28          | 30     | 23       | 56    | 48        | 25          | 48        | 56                | 32       | 99           | 41          | 25           |
| 1975-1976 | 102       | 22     | 34          | 39     | 58       | 104   | 85        | 34          | 90        | 140               | 58       | 124          | 60          | 25           |
| 1976-1977 | 94        | 55     | 55          | 63     | 48       | 93    | 25        | 51          | 90        | 84                | 80       | 137          | 62          | 31           |
| 1977-1978 | 43        | 43     | 38          | 42     | 42       | 78    | 27        | 53          | 87        | 74                | 29       | 93           | 48          | <b>38,9</b>  |
| 1978-1979 | 82        | 24     | <b>32,4</b> | 35     | 29       | 74    | 20        | <b>23</b>   | 93        | 96                | 54       | 158          | 38          | 42           |
| 1979-1980 | 48        | 13     | 59          | 16     | 22       | 27    | 49        | 47          | 63        | 53                | 31       | 50           | 13          | 26           |
| 1980-1981 | 53        | 46     | 87          | 36     | 53       | 87    | 39        | 32          | 70        | 81                | 55       | 110          | 28          | 39           |
| 1981-1982 | 64        | 62     | 43          | 40     | 99       | 93    | 55        | 65          | 83        | 84                | 50       | <b>155,7</b> | <b>48,2</b> | 41           |
| 1982-1983 | 109       | 11     | 32          | 26     | 36       | 100   | 36        | 30          | 59        | 81                | 62       | 86           | 34          | 38           |
| 1983-1984 | 68        | 27     | 60          | 25     | 45       | 56    | 78        | 58          | 61        | 37                | 54       | 72           | 37          | 28           |
| 1984-1985 | 67        | 21     | 61          | 40     | 42       | 89    | 14        | <b>43,4</b> | 99        | 81                | 50       | 70           | 123         | 56           |
| 1985-1986 | 105       | 33     | 70          | 34     | 43       | 79    | 90        | 53          | 77        | 50                | 42       | 90           | 67          | 40           |
| 1986-1987 | 96        | 30     | 96          | 35     | 71       | 131   | 99        | 75          | 64        | 83                | 62       | 118          | 80          | 48           |
| 1987-1988 | 136       | 24     | 92          | 31     | 77       | 109   | 72        | 12          | 110       | 90                | 93       | 100          | 61          | 30           |
| 1988-1989 | 77        | 8      | 105         | 16     | 62       | 144   | 51        | 55          | 116       | 90                | 37       | 146          | 32          | 15           |
| 1989-1990 | 112       | 36     | 70          | 42     | 71       | 149   | 78        | 58          | 99        | 130               | 43       | 147          | 57          | 34           |
| 1990-1991 | 106       | 20     | 67          | 27     | 48       | 104   | 46        | 106         | 112       | 96                | 47       | 92           | 60          | 56           |
| 1991-1992 | 134       | 20     | 100         | 21     | 69       | 87    | 53        | 132         | 63        | 109               | 60       | 137          | 70          | 73           |
| 1992-1993 | 86        | 33     | 93          | 30     | 100      | 97    | 99        | 113         | 59        | 80                | 42       | 147          | 74          | 29           |
| 1993-1994 | 70        | 39     | 82          | 30     | 86       | 87    | 60        | 233         | 51        | 55                | 43       | 118          | 28          | 9            |
| 1994-1995 | 76        | 17     | 76          | 18     | 74       | 68    | 28        | <b>62,5</b> | 53        | 53                | 39       | 64           | 39          | 24           |
| 1995-1996 | 59        | 21     | 102         | 20     | 51       | 78    | 36        | 55          | 55        | 53                | 46       | 88           | 48          | 46           |
| 1996-1997 | 124       | 10     | 119         | 20     | 51       | 101   | 58        | 85          | 36        | 48                | 46       | 164          | 42          | 12           |
| 1997-1998 | 57        | 20     | 70          | 41     | 67       | 84    | 87        | 50          | 67        | 59                | 105      | 83           | 51          | 23           |

| Жылдар    | Коргалжын | Акадыр | Аксу-Аюлы | Бесоба | Жанаарка | Жарык | Жезказган | Жеткыонур | Қарағанда | Қарағанда<br>СХОС | Кертинды | Қызылту | Қорнеевка | Родниковское |
|-----------|-----------|--------|-----------|--------|----------|-------|-----------|-----------|-----------|-------------------|----------|---------|-----------|--------------|
| 1998-1999 | 66        | 21     | 110       | 25,4   | 37       | 73    | 43        | 32        | 45        | 54                | 54       | 87      | 38        | 31           |
| 1999-2000 | 94        | 14     | 140       | 40     | 72       | 144   | 81        | 66        | 84        | 73                | 73       | 146     | 56        | 43           |
| 2000-2001 | 88        | 35     | 45        | 58     | 78       | 138   | 73        | 94        | 85        | 96                | 53       | 135     | 82        | 46           |
| 2001-2002 | 66        | 10     | 78        | 22     | 31       | 60    | 39        | 17        | 49        | 38                | 25       | 89      | 23        | 8            |
| 2002-2003 | 88        | 40     | 87        | 31     | 48       | 72    | 49        | 75        | 89        | 57                | 79       | 109     | 51        | 25           |
| 2003-2004 | 81        | 31     | 57        | 36     | 38       | 99    | 42        | 35        | 90        | 63                | 56       | 119     | 54        | 27           |
| 2004-2005 | 88        | 21     | 75        | 36     | 31       | 86    | 52        | 34        | 55        | 28                | 44       | 103     | 27        | 29           |
| 2005-2006 | 72        | 21     | 68        | 26     | 41       | 60    | 40        | 41        | 64        | 46                | 46       | 105     | 63        | 47           |
| 2006-2007 | 138       | 8      | 78        | 26     | 34       | 86    | 67        | 78        | 113       | 54                | 42       | 167     | 51        | 21           |
| 2007-2008 | 58        | 20     | 17        | 27     | 35       | 70    | 56        | 30        | 78        | 52                | 45       | 153     | 58        | 24           |
| 2008-2009 | 95        | 8      | 55        | 27     | 20       | 63    | 72        | 56        | 81        | 30                | 53       | 84      | 84        | 31           |
| 2009-2010 | 78        | 32     | 122       | 42     | 41       | 78    | 62        | 19        | 109       | 69                | 59       | 99      | 99        | 50           |
| 2010-2011 | 70        | 40     | 80        | 28     | 53       | 65    | 47        | 15        | 91        | 55                | 60       | 99      | 48        | 29           |
| 2011-2012 | 60        | 51     | 67        | 48     | 38       | 40    | 43        | 52        | 67        | 35                | 40       | 85      | 48        | 38           |
| 2012-2013 | 161       | 48     | 92        | 36     | 80       | 119   | 46        | 36        | 145       | 105               | 78       | 164     | 101       | 49           |
| 2013-2014 | 100       | 40     | 98        | 44     | 47       | 107   | 35        | 74        | 125       | 70                | 53       | 140     | 75        | 20           |
| 2014-2015 | 118       | 31     | 89        | 32     | 54       | 66    | 34        | 50,7      | 122       | 62                | 61       | 104     | 78        | 29           |
| 2015-2016 | 128       | 39     | 86        | 57     | 70       | 96    | 35        | 60,4      | 90        | 48                | 63       | 198     | 81        | 25           |
| 2016-2017 | 90        | 20     | 105       | 59     | 63       | 112   | 44        | 21        | 90        | 71                | 92       | 115     | 80        | 44           |
| 2017-2018 | 60        | 72     | 75        | 38     | 51       | 93    | 46        | 12        | 78        | 83                | 43       | 93      | 33        | 21           |
| 2018-2019 | 78        | 36     | 81        | 43     | 78       | 77    | 99        | 28        | 106       | 123               | 84       | 112     | 67        | 54           |
| 2019-2020 | 89        | 54     | 67        | 52     | 61       | 65    | 49        | 35        | 90        | 39                | 62       | 91      | 52        | 34           |

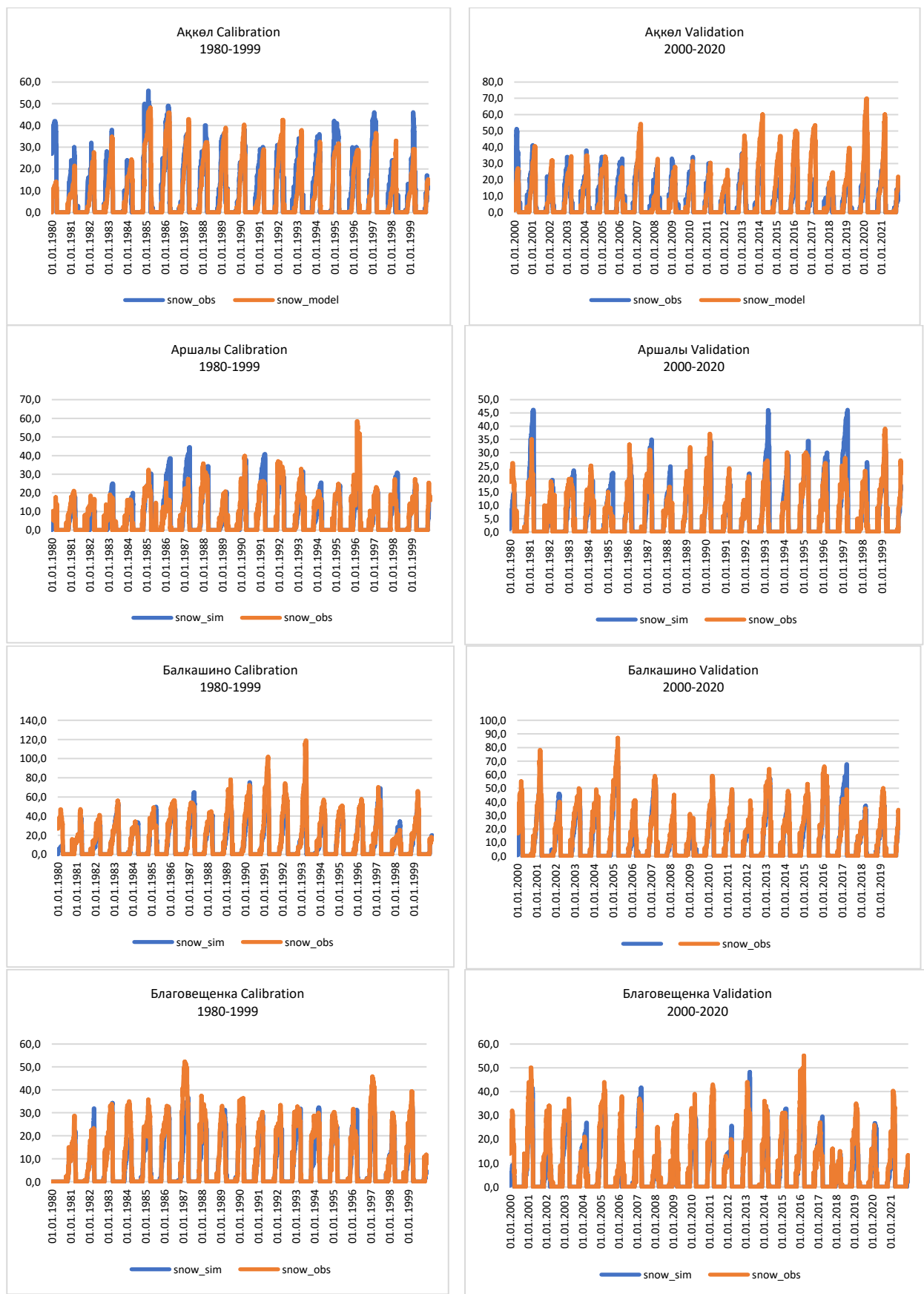
Кесте 4 Қосымша Ө. Нура-Сарысу Статистикалық сипаттамалардың нәтижесі

| Сипаттама              | Коргалжын | Акадыр | Ақсу-Аюлы | Бесоба | Жанаарқа | Жарык  | Жезказған | Жетеконур | Қарағанда | Қарағанда<br>СХОС | Кертинды | Қызылту | Корнеевка | Родниковское |
|------------------------|-----------|--------|-----------|--------|----------|--------|-----------|-----------|-----------|-------------------|----------|---------|-----------|--------------|
| 1970-2019 жж.          | 87,7      | 28,3   | 71,6      | 35,3   | 54,4     | 87,5   | 54,7      | 56,0      | 81,0      | 72,5              | 54,6     | 118,5   | 57,1      | 32,8         |
| 1971-1994 жж.          | 87,6      | 28,3   | 59,7      | 35,4   | 57,6     | 89,7   | 56,9      | 65,2      | 79,2      | 84,6              | 51,5     | 120,9   | 55,1      | 33,8         |
| 1995-2019 жж.          | 87,7      | 28,2   | 82,9      | 35,2   | 51,3     | 85,4   | 52,6      | 47,1      | 82,7      | 61,0              | 57,6     | 116,2   | 59,1      | 31,9         |
| Айырмашылық            | 0,1       | -0,1   | 23,2      | -0,1   | -6,3     | -4,3   | -4,4      | -18,1     | 3,5       | -23,6             | 6,1      | -4,7    | 4,0       | -2,0         |
| Стандартное отклонение | 26,44     | 14,38  | 28,28     | 11,51  | 19,97    | 26,1   | 21,86     | 37,01     | 24,4      | 26,43             | 18,26    | 35,62   | 22,01     | 13,42        |
| Стандартная ошибка     | 3,8       | 2,1    | 4         | 1,6    | 2,9      | 3,7    | 3,1       | 5,3       | 3,5       | 3,8               | 2,6      | 5,1     | 3,1       | 1,9          |
| Медиана                | 82        | 24     | 75        | 35     | 51       | 87     | 49        | 52        | 81        | 71                | 53       | 110     | 56        | 29           |
| Мода                   | 88        | 20     | 70        | 40     | 48       | 87     | 99        | 61        | 90        | 96                | 42       | 99      | 48        | 21           |
| Дисперсия выборки      | 699,07    | 206,91 | 799,71    | 132,59 | 398,62   | 681,19 | 477,9     | 1369,82   | 595,27    | 698,73            | 333,48   | 1268,46 | 484,42    | 180,11       |
| Эксцесс                | 0,12      | 0,79   | -0,5      | -0,16  | -0,48    | 0,41   | -0,61     | 10,11     | -0,37     | -0,07             | 0,54     | 0,06    | 0,58      | 0,42         |
| Ассиметричность        | 0,73      | 0,88   | 0,05      | 0,49   | 0,43     | 0,42   | 0,43      | 2,51      | 0,42      | 0,59              | 0,93     | 0,58    | 0,55      | 0,55         |
| Коэффициент вариации   | 30,1      | 50,9   | 34,1      | 32,7   | 38,9     | 30,6   | 41,6      | 78,5      | 29,5      | 43,3              | 31,7     | 30,7    | 37,3      | 42,1         |
| Максимум               | 161       | 72     | 140       | 63     | 100      | 149    | 99        | 233       | 145       | 140               | 105      | 218     | 123       | 73           |
| Минимум                | 43        | 8      | 17        | 16     | 20       | 27     | 14        | 12        | 36        | 28                | 25       | 50      | 13        | 8            |
| Амплитуда              | 118       | 65     | 123       | 47     | 80       | 122    | 85        | 221       | 109       | 112               | 80       | 168     | 110       | 65           |
| Уровень надежности     | 7,64      | 4,22   | 8,04      | 3,22   | 5,83     | 7,44   | 6,23      | 10,66     | 7,04      | 7,64              | 5,23     | 10,25   | 6,23      | 3,82         |
| Сумма                  | 4295      | 1386   | 3506      | 1729   | 2666     | 4287   | 2681      | 2744      | 3968      | 3555              | 2674     | 5806    | 2800      | 1608         |
| a2, мм/10лет           | 2,13      | 1,59   | 10,27     | 0,01   | -0,5     | 0,56   | -0,47     | -3,43     | 4,56      | -6,21             | 2,44     | -1,41   | 3,13      | 0,66         |
| R2, %                  | 1,33      | 2,5    | 26,92     | 0      | 0,13     | 0,09   | 0,09      | 1,75      | 7,13      | 11,26             | 3,65     | 0,32    | 4,13      | 0,5          |
| R2                     | 0,0133    | 0,0250 | 0,2692    | 0,0000 | 0,0013   | 0,0009 | 0,0009    | 0,0175    | 0,0713    | 0,1126            | 0,0365   | 0,0032  | 0,0413    | 0,0050       |
| ГРАСПОБР               | 0,66      | 1,26   | 18,05     | 0      | 0,06     | 0,05   | 0,05      | 0,87      | 3,76      | 6,22              | 1,86     | 0,16    | 2,11      | 0,25         |

## ҚОСЫМША Б (4-тарау)

Кесте 1 Қосымша Б. Есіл сушараушылығы алабы МС қар жамылғысы ылғал қорын калибровка және валидациялау нәтижелері

| №  | Метеорологиялық станция | 1980-1999 |          |      |      | 2000-2020 |          |       |      | Параметрлер |                    |        |
|----|-------------------------|-----------|----------|------|------|-----------|----------|-------|------|-------------|--------------------|--------|
|    |                         | RSR       | PBIAS, % | NSE  | R    | RSR       | PBIAS, % | NSE   | R    | Tt, °C      | Fdeg, мм/°C күніне | t0, °C |
| 1  | Ақкөл                   | 0,53      | 15,11    | 0,71 | 0,85 | 0,77      | -18,92   | 0,40  | 0,81 | 0.50        | 5.00               | -0.50  |
| 2  | Благовещенка            | 0,46      | 16,78    | 0,79 | 0,90 | 0,51      | 21,64    | 0,74  | 0,87 | -2.00       | 6.50               | 0.00   |
| 3  | Балкашино               | 0,47      | 19,43    | 0,78 | 0,90 | 0,35      | 16,25    | 0,88  | 0,95 | 1.00        | 7.00               | 0.00   |
| 4  | Рузаевка                | 0,54      | 10,82    | 0,71 | 0,85 | 0,54      | 34,66    | 0,71  | 0,88 | 1.00        | 2.00               | -3.50  |
| 5  | Сергеевка               | 0,43      | 3,79     | 0,81 | 0,91 | 0,54      | 39,83    | 0,70  | 0,92 | -2.50       | 7.00               | 0.00   |
| 6  | Степногорск             | 0,52      | 13,91    | 0,73 | 0,87 | 0,56      | 13,72    | 0,68  | 0,83 | 1.00        | 4.00               | -2.00  |
| 7  | Явленка                 | 0,48      | 13,37    | 0,77 | 0,88 | 0,48      | 31,46    | 0,77  | 0,92 | -1.00       | 6.50               | -0.50  |
| 8  | Аршалы                  | 0,73      | -2,17    | 0,46 | 0,75 | 0,74      | -16,30   | 0,45  | 0,79 | 1.00        | 4.50               | -1.00  |
| 9  | Булаево                 | 0,55      | 6,53     | 0,70 | 0,84 | 0,52      | -3,64    | 0,73  | 0,87 | 1.00        | 8.00               | 5.00   |
| 10 | Чкалово                 | 0,49      | 2,98     | 0,76 | 0,87 | 0,65      | 32,18    | 0,58  | 0,79 | 0.50        | 2.00               | -2.00  |
| 11 | Егіндікөл               | 0,60      | 0,25     | 0,64 | 0,82 | 0,70      | 43,26    | 0,50  | 0,78 | 1.00        | 2.00               | -2.00  |
| 12 | Ерейментау              | 0,56      | 3,35     | 0,69 | 0,84 | 0,80      | 63,37    | 0,36  | 0,85 | -3.00       | 6.00               | 0.00   |
| 13 | Кішкенекөл              | 0,38      | 5,88     | 0,85 | 0,93 | 0,72      | 49,34    | 0,48  | 0,80 | 0.00        | 2.00               | -2.50  |
| 14 | Саумалкөл               | 0,55      | 29,50    | 0,70 | 0,89 | 0,61      | -9,84    | 0,62  | 0,82 | 1.50        | 8.00               | 0.50   |
| 15 | Щучинск                 | 0,71      | 10,57    | 0,50 | 0,71 | 0,53      | 26,86    | 0,72  | 0,89 | 0.00        | 4.00               | 3.00   |
| 16 | Тайынша                 | 0,56      | 18,84    | 0,69 | 0,84 | 0,65      | 38,83    | 0,58  | 0,81 | 0.50        | 2.50               | -2.50  |
| 17 | Тимирязево              | 0,56      | 19,04    | 0,69 | 0,85 | 0,59      | 49,63    | 0,65  | 0,93 | 1.00        | 6.00               | 0.50   |
| 18 | Возвышенка              | 0,84      | 21,56    | 0,29 | 0,56 | 0,68      | 13,88    | 0,54  | 0,74 | 3.50        | 2.00               | 4.00   |
| 19 | Жақсы                   | 0,92      | 33,43    | 0,16 | 0,57 | 1,04      | 88,57    | -0,08 | 0,34 | -5.00       | 8.00               | -5.00  |
| 20 | Жалтыр                  | 0,59      | 11,82    | 0,66 | 0,82 | 0,61      | 15,55    | 0,63  | 0,81 | -3.50       | 3.00               | 0.00   |



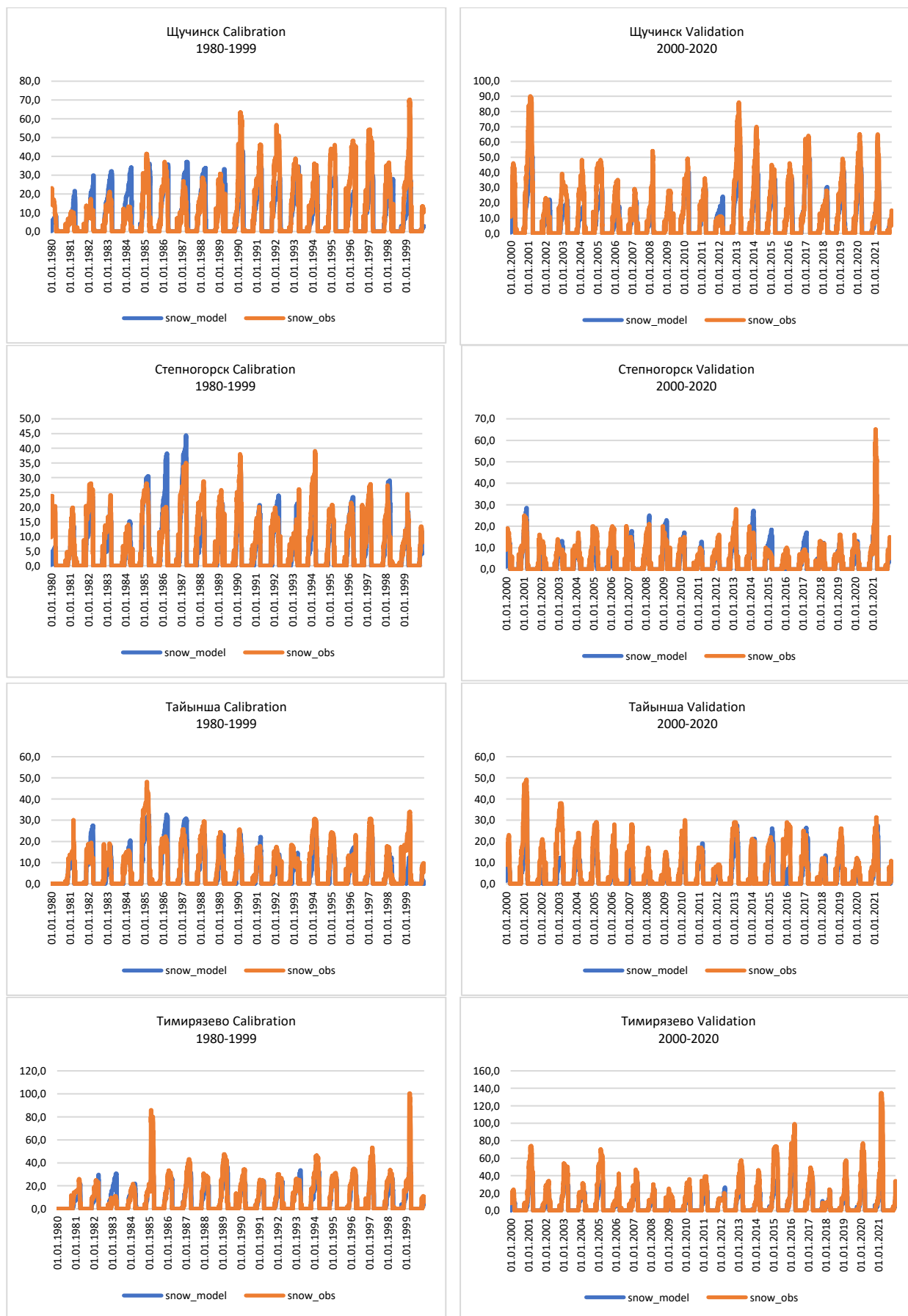
Сурет 1 Қосымша Б. Есіл СІА қар жамылғысы ылғал қорын калибрлеу және валидациялау нәтижелері



Сурет 2 Қосымша Б. Есіл СІА қар жамылғысы ылғал қорын калибрлеу және валидациялау нәтижелері



Сурет 3 Қосымша Б. Есіл СІА қар жамылғысы ылғал қорын калибрлеу және валидациялау нәтижелері



Сурет 4 Қосымша Б. Есіл СІА қар жамылғысы ылғал қорын калибрлеу және валидациялау нәтижелері



Сурет 5 Қосымша Б. Есіл СІА қар жамылғысы ылғал қорын калибрлеу және валидациялау нәтижелері