ӘОЖ 551.524.3 **ҒТАМР 37.21.29**

РЕАНАЛИЗ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ИНВЕРСИЯ ҚАБАТЫН ТАЛДАУ МҮМКІНДІКТЕРІ

М.М.Махамбетова*, Н.Н. Абаев

«Қазгидромет» РМК, Астана қ., Қазақстан
E-mail: mahambetova_m@meteo.kz

Атмосферадағы жылу инверсиясының қабаттарын зерттеу әртүрлі атмосфералық процестерді түсінуде және экологиялық және метеорологиялық мәселелерді шешуде маңызды рөл атқарады. Бұл жұмыс аэрологиялық станциялардың шектеулі қолжетімділігіне балама ретінде ERA5 реанализі деректерін пайдалана отырып, термикалық инверсия қабаттарын талдау әлеуетін бағалауға арналған. 2012...2021 жылдар аралығындағы ERA5 реанализі деректері мен Қарағанды аэрологиялық станциясының радиозондылау деректері арқылы есептелген инверсиялардың сипаттамалары салыстырылды. Жалпы инверсиялар көбінесе қаңтар айында (15...18 рет) кездеседі, ал көктем мен күзде инверсиялардың орташа айлық саны 4...10 құрайды. Жазда жер бетіндегі инверсиялар жиі кездеседі және мәні 25-ке дейін жетеді. Термикалық инверсиялардың қарқындылығы -1 °C ... -9 °C аралығында өзгереді. Зерттеу нәтижелері ERA5 реанализінен алынған және радио зондтау деректері арасындағы жақын ұқсастықтарды көрсетті. Бұл реанализ деректерінің термиялық инверсияларды зерттеуге жарамдылығын көрсетеді. Жасалынған жұмыс атмосфераның ластануы, ауа-райын болжамы, авиациялық метеорология және климаттық модельдерді әзірлеу салаларын дамытуға үлес қосады.

Түйін сөздер: инверсия, атмосфера, радиозонд, ERA5 реанализ.

Қабылданды: 22.05.2023
DOI: 10.54668/2789-6323-2023-109-2-23-33

КІРІСПЕ

Ауа температурасы тропосферада биіктік бойынша төмендейді, бірақ кейбір ерекше жағдайларда вертикальді температуралық градиенттің таңбасының ауысуы орын алады, оны инверсия деп атаймыз. Инверсия қабатының әсеріне белгілі бір аумақта ауа массасының тұрақтылығы байқалады. Жақсы дамыған инверсия тежегіш қабат болып табылады, ол конвективті ағындардың дамыуына төтеп береді. Тұрақтылығы өте жоғары болғандықтан алмасу коэффициенті кішкентай, сондықтан да инверсия қабаты арқылы турбулентті алмасу әлсіз болады (Петерсон С., 1961).

Температуралық инверсияларды зерттеу көптеген ғылыми және қолданбалы мәселелерді шешуге жол береді, оны зерттей отырып шекаралық қабаттағы атмосфераның моделін үлгілеуге, құрылыс климатологияның мәселелерін қарастыруға, авиациялық метеорологияда, және т.б. көптеген салаларда қолдануға болады. Термикалық инверсиялардың климаттық сипаттамалары (пайда болуы, жойылуы, қарқындылығы, т.б.) ауа райын болжауда болжам дәлдігін арттыруға көмектеседі.

Сондай-ақ, атмосфераның ластануына инверсия қабатының әсері көптеген зерттеу жұмыстарында дәлелденген (Берлянд М.Е., 1985). Инверсия қабаты кездесетін жағдайдың 61%-да ластаушы заттардың концентрациясы артады, сонымен қатар, ластаушы заттардың жоғары концентрациясы инверсия байқалатын күндері инверсиясыз күндерге қарағанда 3-5 есе жиі кездеседі (Ячмёнева Н. В., Гольвей А. Ю., 2011). Инверсиялардың сипаттамалары ластаушы заттардың сейілуіне қолайсыз метеорологиялық жағдайларды болжау әдістерін дайндауда, сондай-ақ атмосфераның ластану әлеуетін есептеу үшін

негізгі көрсеткіштер ретінде қолданылады (Л. Ф. Козлова, А. В. Хохлова, 2019, Kauazov A., Abayev N., Turashov S., Zhambalina F., 2021).

Қазақстан Республикасынның территориясында аэрологиялық бақылаулар 9 аэрологиялық станцияда тәулігіне екі рет (00 және 12 ОГУ), жер бетінен 30 км және одан жоғары биіктіктегі атмосфераның жай-күйін бақылау үшін жүргізіледі.

Жалпы алғанда, аэрологиялық станциялардың сирек орналасуымен қатар, радиозондылау ақпараттарының келесідей кемшілігі бар: станциялардағы барлау аралығындағы үзіліс уақыты 12 сағатты құрайды, сонымен қатар кейбір күндері техникалық себептерге байланысты тек бір ғана радиозондтың ұшырылуы мүмкін. Яғни, инверсияны зерттеуге өте маңызды шекаралық қабаттағы мәліметтер толық емес немесе мүлдем болмауы мүмкін. Мұндай ақпараттың болуы инверсия қабаттарының пайда болуы мен жойылу уақытын, қалыптасу ұзақтығын, сонымен қатар инверсияның қалыңдығы мен қарқындылығын нақты анықтауға мүмкіндік береді.

Аэрологиялық станциялардың кеңістіктік ақпаратты қамтамассыз етуі жеткіліксіз болуымен қатар, радиозондылау ақпаратының толық болмауы атмосферадағы метеорологиялық элементтердің таралуын зерттеуге кедергі келтіреді. Сондықтан да, қазіргі таңда қосымша ақпараттар көздерін қолдана отырып атмосфераның әртүрлі қабаттарына талдау жасауға болады. Қарастырылып отырған жұмыста алдынғы қатарлы ақпарат көзі ретінде ERA5 реанализ мәліметтері жиынтығы пайдаланылды.

Реанализ деректер жиынтығы ауа-райы мен климатты зерттеу үшін ең жиі қолданылатын торлы деректердің бірі болып табылады. Біртектілігі мен жоғары кеңістіктік және уақыттық ажыратымдылығының арқасында (өңделмеген бақылаулармен салыстырғанда) реанализ климаттық модельдерді құруда, топырақ су балансының эволюциясын зерттеуде, қауіпті құбылыстарды болджауда және басқа да көптеген қолданбалы мақсаттағы жұмыстарды жүргізу үшін қолданылады (Mavromatis T., 2022).

Реанализ ақпараттарын қолдану соңғы жиырма жылда қатты дамуда және де қолданыста алуан түрлері бар (https://psl.noaa.gov; https://www.copernicus.eu; https://jra.kishou.go.jp). Қазіргі таңда, реанализдердің ішінде алдынғы қатарлы болып Еуропалық орта мерзімді ауа-райын болжау орталығының (ECMWF) ERA5 өнімі саналады (Hoffmann L. et al., 2019).

Осы зерттеу жұмысында қолданылатын реанализ моделін таңдау үшін көптеген ғылыми жұмыстар қарастырылды. Реанализ деректерін бағалау бойынша ғылыми жұмыстары Азия елдердің ауқымында жүргізілген (Liangke H. et al, 2022, Wang Y. et al, 2022, Nacar S.,Kankal M. et al, 2022, Xu W. et al, 2022).

MERRA-2 және ERA5 реанализ мәліметтері бойынша жүргізілген зерттеулерде ауа температурасы мен қысымның ақпараттарының дәлдігі бағаланған. Зерттеу нәтижесінде 609 метеорологиялық станциялардан алынған нақты ақпаратпен салыстырғанда ERA5 және MERRA-2 деректері бойынша алынған температура мен қысымның орташа жылдық ауытқулары тиісінше 0,45 К және -0,07 ГПа және 0,38 К және -0,01 ГПа құрады. Зерттеушілер ERA5 реанализінің дәлдігі MERRA-2-ге қарағанда жоғары екендігін атап өткен болатын (Liangke H. et al, 2022).

Келесі зерттеу жұмысында алдынғы қатарлы бес реанализ модельдері (ERA5, JRA55, MERRA2, HARv2, NCEP/CFSR) алынып, келесідей нәтижелерді атап өтті: барлық реанализ модельдерінің деректер жиыны әртүрлі маусымдардағы төрт радиация параметрінің өзгеру тенденциясын көрсете алады. Қыста жазға қарағанда реанализ модельдері жоғары өнімділікке ие, жазда бұлт жамылғысының үлкен болуына байланысты ақпараттардың сапасы нашарлайды. Дегенмен, бес реанализ модельдерінің ішінен ERA5 әлі де ең көп ұсынылатын деректер жинағы болып табылады (Wang Y. et al, 2022).

Шығыс Азия (Қытай, Жапония, Оңтүстік Корея және Солтүстік Корея) елдерінің ақпараттары

негізінде ERA5, JRA55, NCEP2, CRU реанализдері салыстыру барысында да еуропалық реанализ ERA5 ең жақсы нәтижелерді көрсеткен болатын. Корреляция коэффициенттеріне келетін болсақ, ERA5 және JRA 55 екеуі де жоғары R > 0,9 корреляция коэффициенттерін көрсете отырып, температураның климатологиялық орташа мәндерін жақсы қайталайды. Ең аз орташа квадраттық ауытқу (RMSE) және орташа температурасының ауытқуы (BIAS) мәндері төрт деректер жиынтығының арасында ERA5-те байқалады (Kim M., Lee E., 2022). Сонымен қатар, басқа да жұмыстарда температура мен жауын-шашынды, экстремалды температуралық құбылыстарды, жәте т.б. метеорологиялық элементтерді модельдеу бойынша ERA5 реанализі ең жақсы нәтижелерге ие екендігі айтылады, яғни нақты бақылау мәліметі жоқ жағдайда ERA5 реанализ моделінің қолданбалы мақсаттардағы зерттеулерді жүргізу мүмкіндігі жоғары екендігін көрсетеді (Nacar S.,Kankal M. et al, 2022, Xu W. et al, 2022, Yilmaz M., 2023, Махамбетова М.М., Абаев Н.Н., Нысанбаева А.С., 2022)

Қарастырылып отырған жұмыста ERA5 реанализ мәліметі негізінде Қазақстан аумағында инверсияның сипаттамалары талданды.

БАСТАПҚЫ МӘЛІМЕТТЕРІ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу жұмысында Қарағанды қаласында (49°48.55′, 73°08.29′) 2012...2021 жылдар аралығындағы жер беті инверсияларын реанализ ақпараттары негізінде талдау мүмкіндігі бағаланды. Зерттеу үшін қолданылған бастапқы метеорологиялық ақпараттар РМК «Қазгидромет» және copernicus.eu сайтынан алынды.

Радиозондылау мәліметі. Қарағанды қаласының радиозондылау ақпараты РМК «Қазгидромет» бақылау желісі мәліметтерінен алынды. Қарағанды аэрологиялық станциясы 1941 жылдан бері жұмыс істеп келеді. Станция 49º48′ с.е пен 73º09′ ш.б орналасқан, станцияның биіктігі 552,2 м. Алынған он жылдық кезеңде аэрологиялық станциясында АВК-МРЗ, Grow DFM-09, Grow DFM-17, GPSonde M10 түріндегі радиозондттар ұшырылды.

Бастапқы мәлімет негізінде Қарағанды аэрологиялық станциясындағы 2012...2021 жылдар аралығындағы ауа температурасының 925 гПа және 850 гПа изобаралық беттіктегі таңғы және кешкі бақылау (00 сағ., 12 сағ.) ақпараты алынды. Сонымен қатар, жер бетінен 2 м биіктіктегі ауа температурасының ақпараты Қарағанды метеорологиялық станциясынан алынды.

Реанализ ақпараты. Бастапқы мәлімет көзі ретінде Еуропалық орта мерзімді ауа-райын болжау орталығы шығарған ERA5 қолданылды. Жаһандық ақпарат көзінен 2012...2021 жылдар аралығы үшін 925 гПа, 850 гПа беттіктердегі ауа температуралары және жер бетінен 2 м биіктіктегі ауа температурасы алынды.

ERA5 - Еуропалық орта мерзімді ауа-райын болжау орталығы (ECMWF) дайындаған ең жаңа атмосфералық реанализ. ECMWF реанализдің бесінші буыны ретінде ERA5 ERA-Interim-де қол жетімді көптеген параметрлерді қамтиды және көптеген инновациялық мүмкіндіктерге ие. ERA-Interim деректер жинағы 0,7 градус ажыратымдылыққа ие, ал ERA5 әлдеқайда жоғары 0,25 градус ажыратымдылықты қамтамасыз етеді. Сол сияқты, ERA5 реанализі 1950 жылдың 1 қаңтарына дейін созылады және ол алғаш рет атмосфераның, құрлық пен теңіз бетінің көптеген параметрлері туралы сағаттық деректерді ұсынады (Zhu, J. et al., 2015).

Көптеген кеңестік және шетелдік ғалымдар инверсияларды зерттеді. Осы уақытқа дейін инверсияларды зерттеу процесінде олардың пайда болу шарттары анықталды және инверсияларды екі негізгі түрге бөлді. Олар жер беті инверсиялар және еркін атмосфералық инверсиялар (Бордовская Л.И., 1976).

Зерттеу жұмысында жер бетіне жақын шекаралық қабаттағы инверсиялары есептелінді. Шекаралық қабатта кездесетін инверсиялардың үш түрі ерекшеленді,

олар жер беті инверсиясы, көтеріңкі инверсия және жалпы инверсия. Инверсияны анықтау қабаттар арасындағы ауа температурасының айырмашылығы анықтау арқылы есептелінді,яғни келесі формулалар қолданылды:

$$\Delta T_{жб} = T_{2м} - T_{925}$$
$$\Delta T_{к} = T_{925} - T_{850} \quad (1)$$
$$\Delta T_{ж} = T_{2м} - T_{850}$$

мұндағы, $T_{2м}$ – жер бетінен 2 м биіктіктегі ауа температурасы;

ΔT_{925} – 925 гПа изобаралық беттіктегі ауа температурасы;

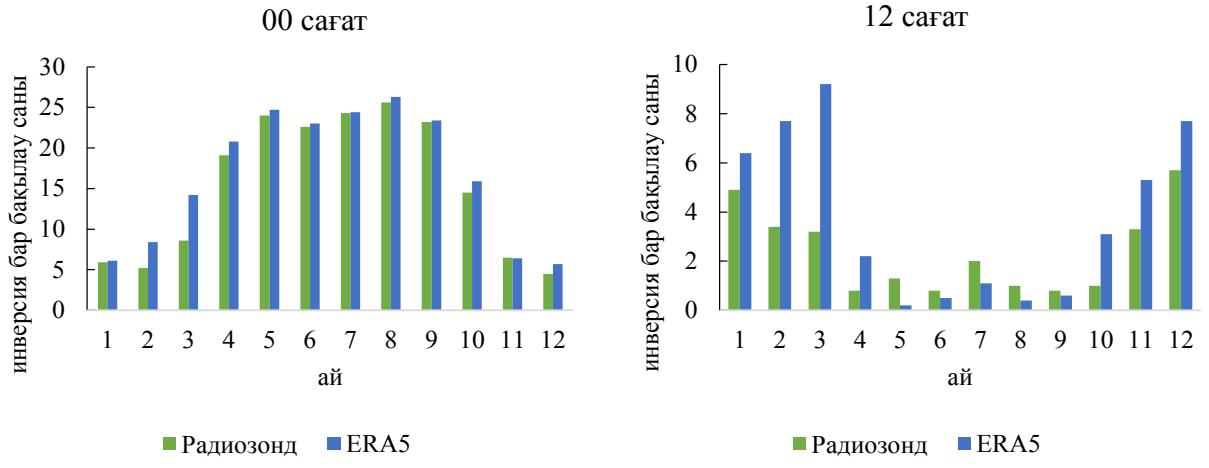
ΔT_{850} – 850 гПа изобаралық беттіктегі ауа температурасы;

$\Delta T_{жб}$ жер беті инверсиясын, $\Delta T_{к}$ – көтеріңкі инверсияны, $\Delta T_{ж}$ – жалпы инверсияны анықтайтын шама. $\Delta T_{жб}$, $\Delta T_{к}$, $\Delta T_{ж}$ мәндері теріс болса онда инверсия бар деп есептелінеді. Жер беті мен 925 гПа изобаралық қабаттың арасында ауа температурасының айырмашылығы теріс болған жағдайды жер беті инверсиясы бар қабат деп есептелінді. 925 гПа мен 850 гПа изобаралық қабаттардың арасында ауа температурасының айырмашылығы теріс болса көтеріңкі немесе биіктік инверсиясы деп алынды. Ал, $\Delta T_{жб}$ қабатында да, $\Delta T_{к}$ қабатында да температура айырмашылығы теріс болса, онда инверсия жалпы немесе қуатты деп есептелінеді (Ахметшина А., 2015).

НӘТИЖЕЛЕРІН ТАЛДАУ

Жер беті инверсиялары бар күндердің ең көп саны жазда, ал көтеріңкі инверсиялар қаңтарда байқалады. Жалпы инверсиясы бар күндердің ең аз саны күзде қыркүйек–қазан айларында байқалады. Инверсиялардың орташа тәуліктік ұзақтығы ең жоғары шамасы көтеріңкі инверсияларда қарашадан наурызға дейінгі кезеңде. Жылдың жылы кезеңінде жер беті инверсиялары басым болады, дегенмен инверсиялардың жалпы ұзақтығы минималды (Шкляев В.А., Костарева Т.В., 2019).

Зерттеу жұмысында 2012...2021 жылдар аралығында Қарағанды қаласында шекаралық қабаттағы температуралық инверсиялармен бақылаулар саны анықталынды. Келесі суреттерде, жер беті, көтеріңкі және жалпы инверсиялардың жыл ішінде таралу динамикасы берілген (Сурет 1...3).

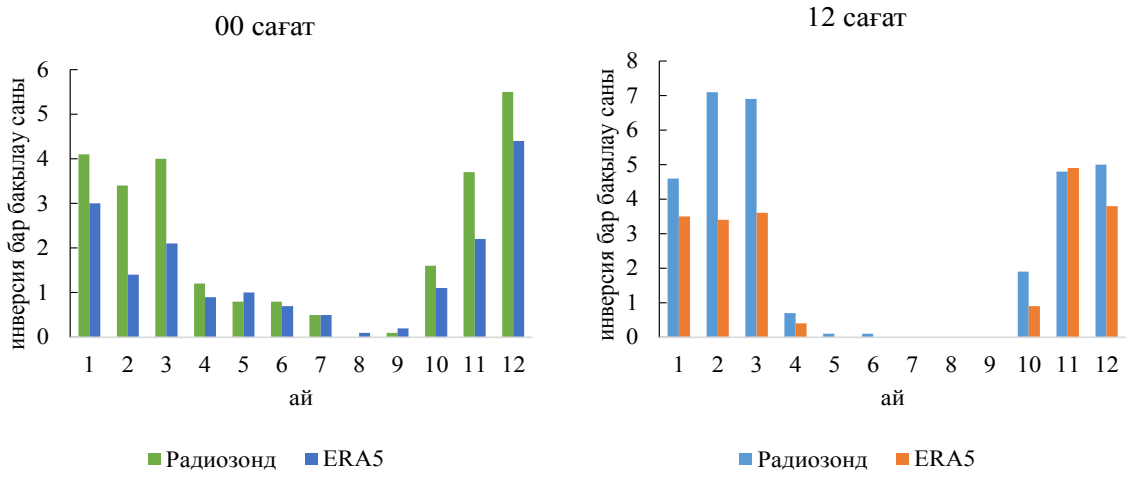


Сур. 1. *Таңғы және кешкі уақыттағы жер беті инверсиялары бар орташа айлық бақылаулар саны.*

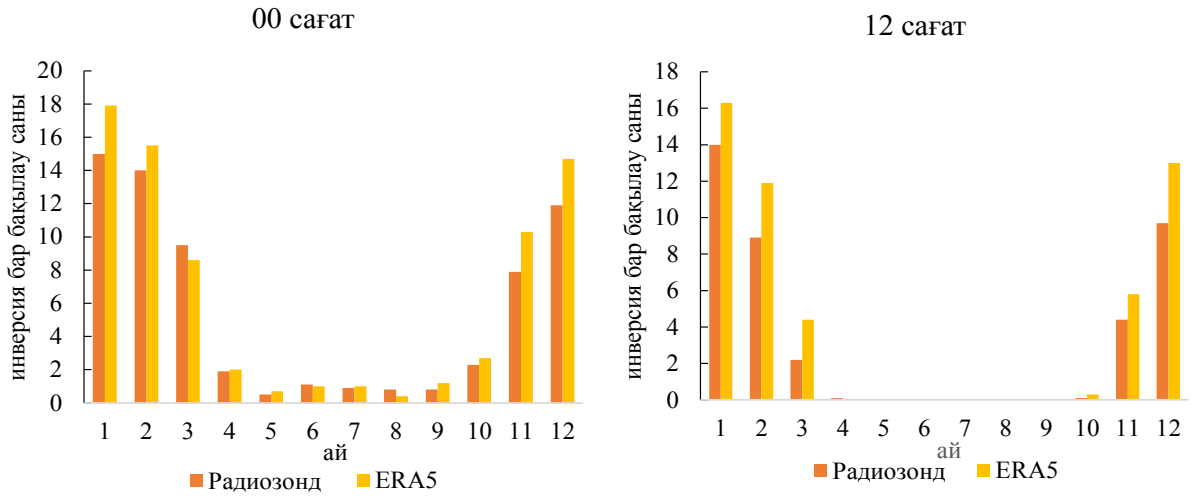
1-суретте, таңғы және кешкі уақытта жер беті инверсиялармен орташа айлық бақылау саны берілген. Радиозондылау және реанализдің ақпараттары жалпы алғанда бір-біріне ұқсас келеді. Әсіресе, таңғы уақытта реанализ мәліметінен алынған нәтижелер радиозонд ақпаратын толығымен қайталап отыр. Таңғы уақытта (ОГУ бойынша 00 сағат) жер беті инверсиялары минималды

қайталанушылығы қысқы уақытқа тиесілі, желтоқсан айында орташа 5...6 рет болады. Жер беті инверсисы максималды кездесуі жазғы айларда болады, тамыз айында орташа саны 25...26 тең. Бұл келесімен түсіндіріледі, жазда таңғы уақыттарда беткі қабат пен ауаның төменгі қабаттарында радиациялық салқындату үлкен рөл атқарады, сондықтан да жер беті инверсиялардың қайталанушылығы да жоғары болады (Крюкова С. В., Симакина Т. Е., 2015).

Кешкі уақытта (ОГУ бойынша 12 сағат) жер беті инверсиясы қыста жазға қарағанда жиірек бақыланады. Жыл ішінде орташа алғанда 1...6 аралығында кездеседі, жазда кейде мүлдем кездеспеуі мүмкін. Жалпы жер беті инверсиясы кешкі уақытта аз байқалады.



Сур. 2. *Таңғы және кешкі уақыттағы көтеріңкі инверсиялар бар орташа айлық бақылаулар саны.*



Сур. 3. *Таңғы және кешкі уақыттағы жалпы инверсиялар бар орташа айлық бақылаулар саны.*

2-суретте, көтеріңкі инверсиясының екі бақылау мерзіміндегі орташа айлық бақылау саны берілген. Көтеріңкі инверсия таңғы және кешкі уақытта көбінесе жылдың суық мерзімінде кездеседі. Жаз мезгілінде көтеріңкі инверсия таңғы уақытта аз кездеседі (<3), ал кешке мүлдем бақыланбайды.

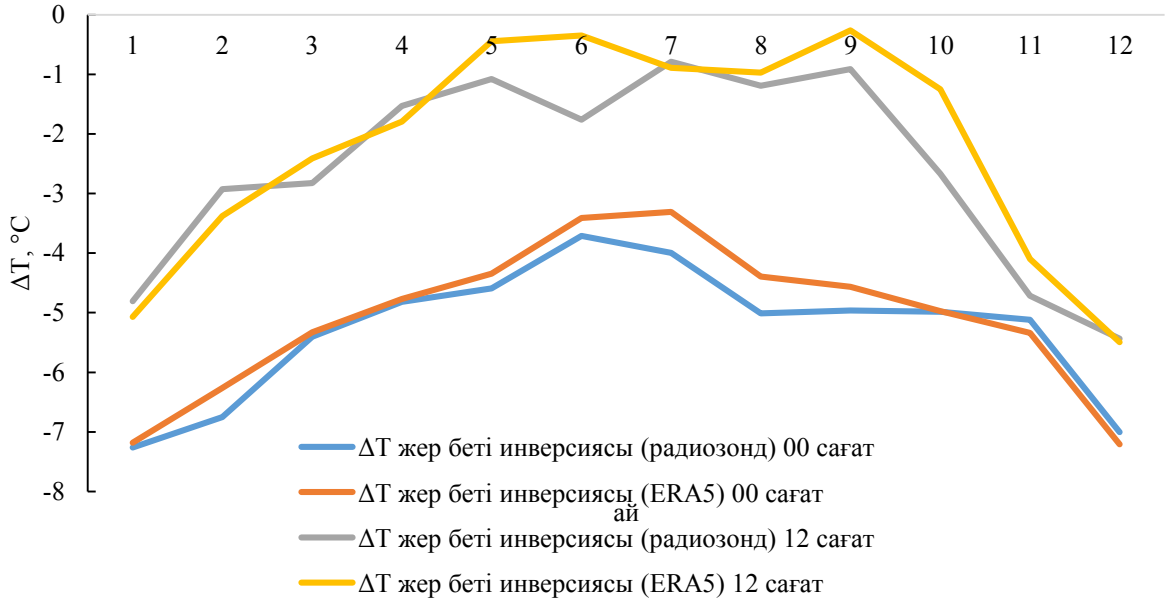
Таңғы уақытта көтеріңкі инверсия максималды желтоқсан айында 5...6 рет бақыланса, кешкі уақытта максималды мәні ақпан мен наурызда 7 тең.

Нақты барлау және альтернативті ақпарат көзін салыстыратын болсақ, радиозондылау арқылы алынған көрсеткіштердің нәтижесі реанализдан үлкен болып келеді, әсіресе бұл айырмашылық ақпан-наурыз айларында қатты байқалады.

3-суретте жалпы инверсиялардың, жер беті мен көтеріңкі инверсиялар бірге кездескен жағдайдың жыл ішінде орташа айлық таралуы берілген. Көтеріңкі инверсия секілді, жалпы инверсия көбінесе қысқы айларында кездеседі.

Екі бақылау уақытында да жалпы инверсиялар ең жиі қаңтар айында бақыланады, шамемен 15...18 тең. Көктемде және күзде таңғы уақытта жалпы инверсияның орташа айлық мәні 10 дейін барады, ал кешкі уақытта 4...6 тең.

Инверсияның қарқындылығы (инверсия шамасы) дегеніміз – қабаттағы температураның жалпы өсуі, ΔT, °C (Ахметшина А. С., 2015). Келесі суреттерде әр инверсияның орташа айлық қарқындылығы берілген (Сурет 4...6).



Сур. 4. *Таңғы және кешкі уақыттағы жер беті инверсияларының орташа айлық қарқындылығының таралуы.*

Екі ақпарат көздерінің нәтижелері жыл ішінде таралу ерекшеліктерінің ұқсастығын көрсетті. Таңғы жер беті инверсияларының қарқындылығы кешкі уақытқа қарағанда күштірек болады. Таңғы уақытта жер беті инверсияның қарқындылығы барлық айда теріс мәнге ие, -3 °C...-7 °C аралығында таралады. Жыл ішінде қысқы инверсияның қарқындылығы жоғары болады.

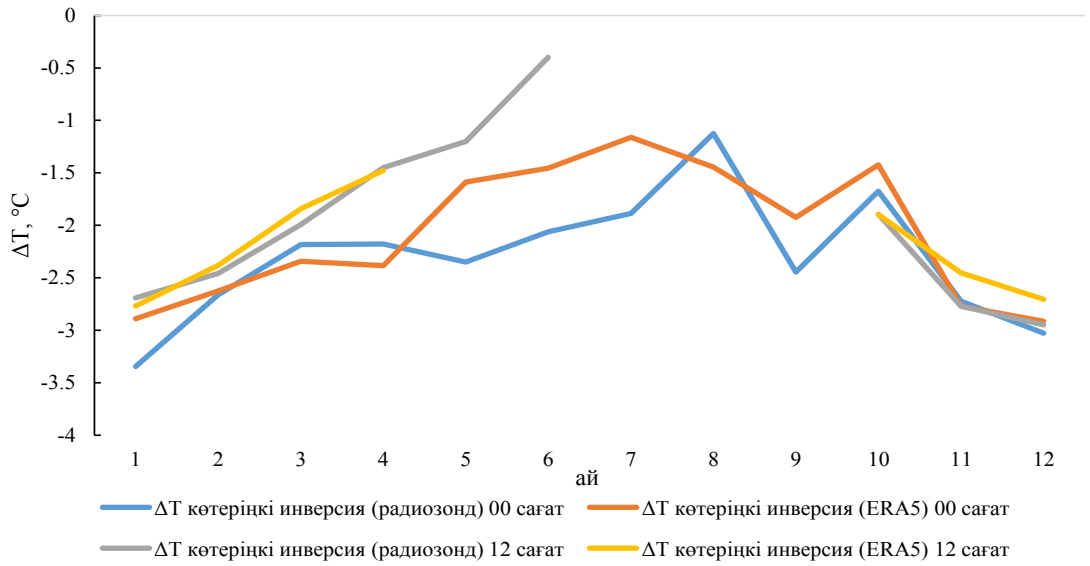
Кешкі уақытта жер беті инверсияларының жыл ішінде таралуы -5 °C пен -0,8 °C аралығында болады. Жазғы айларында кешкі жер беті инверсиясының қарқындылығы өте төмен болып келеді.

5-суретте, көтеріңкі инверсиялардың орташа айлық қарқындылығының таралуы берілген. Таңғы уақыттағы екі ақпараттың жүрісі ұқсас, бірақ кейбір айырмашылықтар бар. Ал кешкі уақытта реанализ бен радиозондылау арқылы алынған ақпараттар бір-бірін жақсы қайталайды.

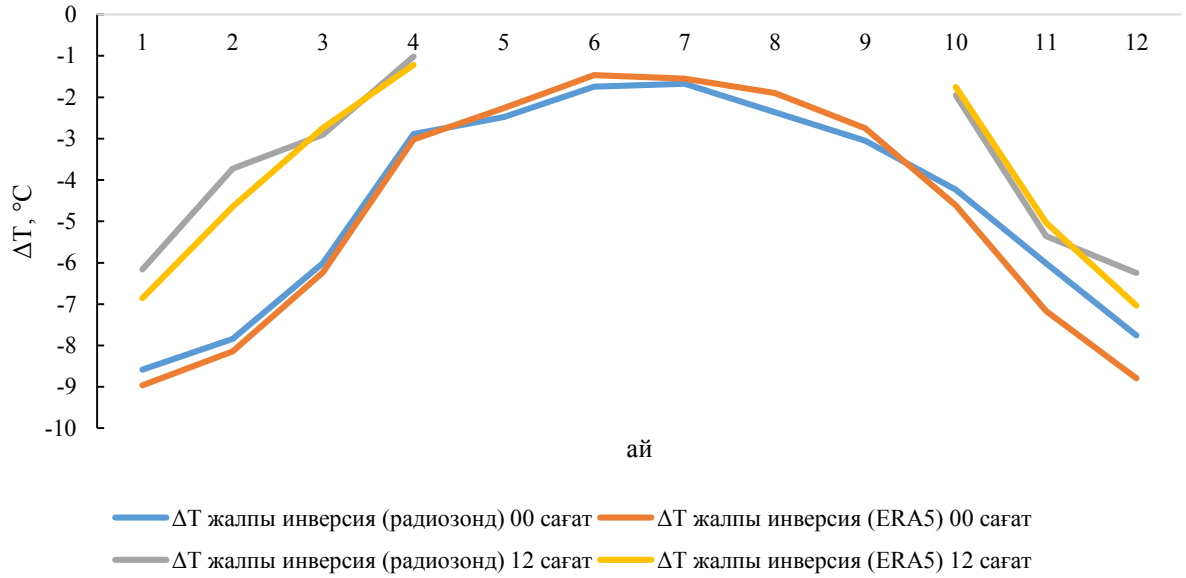
Таңғы уақыттағы көтеріңкі инверсиясының қарқындылығы кешкі уақытқа қарағанда жыл бойы анықталады, шамасы -1,2 °C пен -3,4 °C аралығында өзгереді. Жоғары қарқындылық қыс айларында бақыланады, ал жазда азаяды.

Кешкі уақыт үшін көтеріңкі инверсияларының қарқындылығы тек жылдың суық мезгілінде ғана анықталады және -1 °C...-3 °C тең. Жазда кешкі уақытта көтеріңкі инверсия бақыланған жағдайда қарқындылығы өте төмен болады (0,5 °C).

6-суретте, таңғы және кешкі барлау уақытындағы жалпы инверсияның орташа айлық қарқындылығы бейнеленген.



Сур. 5. *Таңғы және кешкі уақыттағы көтеріңкі инверсиялардың орташа айлық қарқындылығының таралуы.*



Сур. 6. *Таңғы және кешкі уақыттағы жалпы инверсиялардың орташа айлық қарқындылығының таралуы.*

Суретте радиозонд пен реанализдан алынған инверсиялардың қарқындылықтары ұқсас таралатындығы көрінеді.

Таңғы уақытта қарқындылық кешкі уақытқа қарағанда төмен болып келеді және жыл бойы бақыланады. Жалпы инверсияның қарқындылығы қыстан жазға қарай азаяды.

Қыста таңертен жалпы инверсияның қарқындылығы -7 °C...-9 °C тең, жаз айларында айларында шамамен -1...-2 °C тең.

Кешкі уақытта (ОГУ бойынша 12 сағат) жалпы инверсиялар тек жылдың суық мезгілінде ғана байқалады. Инверсияның қарқындылығы -1 °C мен -7 °C аралығында өзереді. Мамыр мен қыркүйек аралығында жалпы инверсиялар аз кездесетіндіктен, бұл уақытта қарқындылық анықталмайды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қарағанды қаласында шекаралық қабаттағы термикалық инверсияларды зерттей отырып келесідей нәтижелер алынды:

Жер беті инверсиялары таңғы уақытта жиі кездесуі радиациялық салқындаудын салдарынан болады,

желтоқсан айында орташа алғанда 5...6 рет, тамыз айында саны 25-26 дейін жетеді.

Кешкі уақытта жер беті инверсиясы қыста жазға қарағанда жиірек кездеседі.

Көтеріңкі инверсия таңғы уақытта максималды қайталануы желтоқсан айында 5...6 рет бақыланса, кешкі уақытта максималды мәні ақпан мен наурызда 7 жағдайға тең.

Жалпы инверсия екі бақылау уақытында да қаңтар айында жиі кездеседі, шамемен 15...18 рет. Көктемде және күзде таңғы уақытта жалпы инверсиямен орташа айлық жағдайлар саны 10 дейін жетсе, кешкі уақытта 4...6 тең. Ал жазғы айлары аз бақыланады (1) немесе мүлдем болмайды.

Термикалық инверсияларының қарқындылығы қыстан жаз айларына қарай азаяды. Таңғы уақытта жер беті инверсияның қарқындылығы жыл ішінде теріс мәнге ие және -3 °С...-7 °С аралығында таралады. Кешкі уақытта жер беті инверсияларының қарқындылығы -5 °С пен -0,8 °С аралығында таралады.

Көтеріңкі инверсияның қарқындылығы таңертен -1,2°С пен -3,4°С аралығында өзгерсе, кешкі уақытта -1 °С...-3 °С тең.

Қыста таңертен жалпы инверсияның қарқындылығы -7 °С...-9 °С тең, жаз айларында шамамен -1...-2 °С тең. Кешкі уақытта жалпы инверсияның қарқындылығы тек жылдың суық мезгілінде ғана анықталады және мәні -1 °С мен -7 °С аралығында өзереді.

Орын алған кейбір қателіктер радиозондтың ұшырылған кезіндегі бастапқы орнынан ауа ағынымен ауытқып кетуінен болуы мүмкін, сонымен қатар, реанализ моделі ақпаратты белгілі бір координаттық нүктеден алатындықтан, оның мәліметі тек алынған орынға қатысты болады.

Сонымен, реанализ ақпараты радиозондылау ақпаратын жақсы қайталайды. Яғни, қолданбалы мақсатта инверсиялардың қайталанушылығын және қарқындылығын анықтауда аэрологиялық ақпараттарды реанализ ақпаратымен алмастыруға болады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 *Ахметшина А. С.* Инверсии температуры воздуха как фактор, влияющий на уровень загрязнения пограничного слоя атмосферы (на примере г. Томска) Диссертация Томск – 2015. – 54 б.

2 *Берлянд М.Е.* Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы // Л.:Гидрометеоиздат, 1985.—272 с.

3 *Бордовская Л. И.* Температурные инверсии над западной сибирью // вопросы географии сибири выпуск девятый // Томск – 1976// 16-21 с.

4 *Козлова Л. Ф., Хохлова А. В.* Повторяемость инверсий температуры по данным наблюдений на аэрологической станции салехард // Труды ВНИИГМИ-МЦД, выпуск 185 /2019/105-114

5 *Крюкова С. В., Симакина Т. Е.* (2015). Сезонная динамика влияния инверсий на уровень загрязнения атмосферы в г. Санкт-Петербурге. APRIORI. Серия: Естественные и технические науки, (2), 19.

6 *Махамбетова М.М., Абаев Н.Н., Нысанбаева А.С.* Алматы қаласында реанализ мәліметтері бойынша метеорологиялық параметрлердің вертикальді таралу ерекшеліктері Хабаршы. География сериясы. №2 (65) 2022

7 *Петерсон С.* Анализ и прогноз погоды гидрометеорологическое – Ленинград: Гидрометеозидат, 1961. – 425 с.

8 *Шкляев В.А., Костарева Т.В.* Характеристики температурных инверсий и их связь с загрязнением атмосферного воздуха в г. Перми // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №1(48). С. 84–92. doi 10.17072/2079-7877-2019-1-84-92

9 *Ячмёнева Н. В., Гольвей А. Ю.* Повторяемость инверсий и их влияние на уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинске // Вестник Челябинского государственного университета. 2011. Экология. Природопользование. Вып. 5. С. 84–89.

10 Hoffmann L., Günther G., Li D., Stein O., Wu X., Griessbach S., Heng Y., Konopka P., Müller R., Vogel B. et al., “From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF’s next-generation reanalysis on lagrangian transport simulations.” Atmospheric Chemistry & Physics, vol. 19, no. 5, 2019.

11 *Huang, Liangke & Fang, Xiaoyang & Zhang, Tengxu & Wang, Haoyu & Cui, Lei & Liu, Lilong.* (2022). Evaluation of surface temperature and pressure derived from MERRA-2 and ERA5 reanalysis datasets and their applications in hourly GNSS precipitable water vapor retrieval over China. Geodesy and Geodynamics. 14. 10.1016/j.geog.2022.08.006.
12 *Kauazov, A., Abayev, N., Turashov, S., Zhambalina, F.* (2021). The Development of Software to Calculate the Atmospheric Pollution Parameters and Air Pollution Levels Forecast. In: Silhavy, R. (eds) Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems. CSOC 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 228. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77448-6_52
13 *Kim, Minseok & Lee, Eungul.* (2022). Validation and Comparison of Climate Reanalysis Data in the East Asian Monsoon Region. Atmosphere. 13. 1589. 10.3390/atmos13101589.
14 *Mavromatis T.* Evaluation of Reanalysis Data in Meteorological and Climatological Applications: Spatial and Temporal Considerations. Water 2022, 14, 2769.
15 *Nacar, Sinan & Kankal, Murat & Okkan, Umut.* (2022). Evaluation of the suitability of NCEP/NCAR, ERA-Interim and, ERA5 reanalysis data sets for statistical downscaling in the Eastern Black Sea Basin, Turkey. Meteorology and Atmospheric Physics. 134. 10.1007/s00703-022-00878-6.
16 *Yilmaz, Meric.* (2023). Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5-Land. Science of The Total Environment. 856. 159182.
17 *Yingshan, Wang & Sun, Weijun & Wang, Lei & Yanzhao, Li & Wentao, Du & Jizu, Chen & Xiang, Qin.* (2022). How Do Different Reanalysis Radiation Datasets Perform in West Qilian Mountains?. Frontiers in Earth Science. 10. 10.3389/feart.2022.852054.
18 *Xu, Wanling & Lei, Xiangyong & Chen, Shiting & Yu, Tingting & Hu, Zeng-Yun & Zhang, Meng & Jiang, Lizhi & Bao, Ruijuan & Guan, Xiaojun & Ma, Miaomiao & Wei, Jianhui & Gao, Lu & Feng, Aixia.* (2022). How Well Does the ERA5 Reanalysis Capture the Extreme Climate Events Over China? Part II: Extreme Temperature. Frontiers in Environmental Science. 10. 921659. 10.3389/fenvs.2022.921659.
19 *Zhu, J.; Xie, A.; Qin, X.; Wang, Y.; Xu, B.; Wang, Y.* An Assessment of ERA5 Reanalysis for Antarctic Near-Surface Air Temperature
20 ERA5 Reanalysis [электрондық ресурстар]. - https://www.copernicus.eu
21 NCEP/NCAR Reanalysis [электрондық ресурстар]. - https://psl.noaa.gov
22 Japanese Reanalysis [электрондық ресурстар]. - https://jra.kishou.go.jp

REFERENCES

1 *Ahmetshina A. S.* Inversii temperatury vozduha kak faktor, vliyayushhiy na uroven zagryazneniya pogranichnogo sloya atmosfery (na primere g. Tomska) Dissertaciya Tomsk – 2015. – 54 p.
2 *Berlyand M.E.* Prognoz i regulirovanie zagryaznenya atmosfery // L.:Gidrometeoizdat, 1985.—272 p.
3 *Bordovskaja L. I.* Temperaturnye inversii nad zapadnoj sibir'ju // voprosy geografii sibiri vypusk devjatyj // Tomsk – 1976// 16-21 p.
4 *Kozlova L.F., Hohlova A.V.* Povtorjaemost' inversij temperatury po dannym nabljudenij na ajerologicheskoj stancii salehard // Trudy VNIIGMI-MCD, vypusk 185 /2019/105-114
5 *Krjukova S. V., Simakina T. E.* (2015). Sezonnaja dinamika vlijanija inversij na uroven' zagrjaznenija atmosfery v g. Sankt-Peterburge. APRIORI. Serija: Estestvennye i tehnicheskie nauki, (2), 19.
6 *Mahambetova M.M., Abaev N.N., Nysanbaeva A.S.* Almaty қalasynda reanaliz malimetteri boiynsha meteorologijalyқ parametrlerdin vertikaldi taralu erekshelikteri Habarshy. Geografiya seriyasy. №2 (65) 2022
7 *Peterson S.* Analiz i prognoz pogody gidrometeorologicheskoe – Leningrad: Gidrometeozidat, 1961. – 425 p.
8 *Shkljaev V.A., Kostareva T.V.* Harakteristiki temperaturnyh inversij i ih svjaz' s zagrjazneniem atmosfernogo vozduha v g. Permi // Geograficheskij vestnik = Geographical bulletin. 2019. №1(48). p. 84–92. doi 10.17072/2079-7877-2019-1-84-92

9 *Yachmyoneva N. V., Golvey A. Ju.* POVTORYAEMOST INVERSII I IH VLIYANIE NA UROVEN ZAGRYAZNENIYA ATMOSFERNOGO VOZDUHA V G. CHELYABINSKE // Vestnik Cheljabinskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. Jekologija. Prirodopol'zovanie. Vyp. 5. p. 84–89.
10 *Hoffmann L., Günther G., Li D., Stein O., Wu X., Griessbach S., Heng Y., Konopka P., Müller R., Vogel B. et al.,* "From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on lagrangian transport simulations." Atmospheric Chemistry & Physics, vol. 19, no. 5, 2019.
11 *Huang, Liangke & Fang, Xiaoyang & Zhang, Tengxu & Wang, Haoyu & Cui, Lei & Liu, Lilong.* (2022). Evaluation of surface temperature and pressure derived from MERRA-2 and ERA5 reanalysis datasets and their applications in hourly GNSS precipitable water vapor retrieval over China. Geodesy and Geodynamics. 14. 10.1016/j.geog.2022.08.006.
12 *Kauazov, A., Abayev, N., Turashov, S., Zhambalina, F.* (2021). The Development of Software to Calculate the Atmospheric Pollution Parameters and Air Pollution Levels Forecast. In: Silhavy, R. (eds) Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems. CSOC 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 228. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77448-6_52
13 *Kim, Minseok & Lee, Eungul.* (2022). Validation and Comparison of Climate Reanalysis Data in the East Asian Monsoon Region. Atmosphere. 13. 1589. 10.3390/atmos13101589.
14 *Mavromatis T.* Evaluation of Reanalysis Data in Meteorological and Climatological Applications: Spatial and Temporal Considerations. Water 2022, 14, 2769.
15 *Nacar, Sinan & Kankal, Murat & Okkan, Umut.* (2022). Evaluation of the suitability of NCEP/NCAR, ERA-Interim and, ERA5 reanalysis data sets for statistical downscaling in the Eastern Black Sea Basin, Turkey. Meteorology and Atmospheric Physics. 134. 10.1007/s00703-022-00878-6.
16 *Yilmaz, Meric.* (2023). Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5-Land. Science of The Total Environment. 856. 159182.
17 *Yingshan, Wang & Sun, Weijun & Wang, Lei & Yanzhao, Li & Wentao, Du & Jizu, Chen & Xiang, Qin.* (2022). How Do Different Reanalysis Radiation Datasets Perform in West Qilian Mountains?. Frontiers in Earth Science. 10. 10.3389/feart.2022.852054.
18 *Xu, Wanling & Lei, Xiangyong & Chen, Shiting & Yu, Tingting & Hu, Zeng-Yun & Zhang, Meng & Jiang, Lizhi & Bao, Ruijuan & Guan, Xiaojun & Ma, Miaomiao & Wei, Jianhui & Gao, Lu & Feng, Aixia.* (2022). How Well Does the ERA5 Reanalysis Capture the Extreme Climate Events Over China? Part II: Extreme Temperature. Frontiers in Environmental Science. 10. 921659. 10.3389/fenvs.2022.921659.
19 *Zhu, J.; Xie, A.; Qin, X.; Wang, Y.; Xu, B.; Wang, Y.* An Assessment of ERA5 Reanalysis for Antarctic Near-Surface Air Temperature
20 ERA5 Reanalysis [Electronic resources]. - https://www.copernicus.eu
21 NCEP/NCAR Reanalysis [Electronic resources]. - https://psl.noaa.gov
22 Japanese Reanalysis [Electronic resources]. - https://jra.kishou.go.jp

THE POSSIBILITIES OF ANALYZING THE INVERSION LAYER ACCORDING TO REANALYSIS DATA

M.M. Makhambetova*, N.N. Abayev

RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan
E-mail: mahambetova_m@meteo.kz

The study of thermal inversion layers in the atmosphere plays an important role in understanding various atmospheric processes and solving environmental and meteorological problems. This work is devoted to evaluating the potential of thermal inversion layer analysis using ERA5 reanalysis data in the near-ground layer as an alternative to the limited availability of aerological stations.

The characteristics of inversions calculated using ERA5 reanalysis data and radiosonde data from the Karaganda Aerological Station for the period from 2012 to 2021 were compared. General inversions occur most often in January (15...18 times), while in spring and autumn, the average monthly number of cases is 4...10. In the summertime, surface inversions occur most frequently, with a mean monthly value of up to 25 times. The intensity of different surface inversions varies between -1 °C ... -9 °C. The results of the study showed a close similarity between the ERA5 reanalysis data and the radiosonde data. This indicates the suitability of the reanalysis data for studying thermal inversions. This study contributes to the development of knowledge in atmospheric pollution, weather forecasting, aviation meteorology, and the development of climate models by using reanalysis data to study inversion phenomena.

Keywords: inversion, atmosphere, radiosonde, ERA5 reanalysis.

ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ИНВЕРСИИОННОГО СЛОЯ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА

М.М.Махамбетова*, Н.Н. Абаев

РГП «Казгидромет», г. Астана, Казакстан
E-mail: mahambetova_m@meteo.kz

Исследование слоев тепловой инверсии в атмосфере играет важную роль в понимании различных атмосферных процессов и решении важных экологических и метеорологических задач. Данная работа посвящена оценке потенциала анализа слоев термических инверсий с использованием данных реанализа ERA5 в приземном слое в качестве альтернативы ограниченной доступности аэрологических станций. Были сравнены характеристики инверсий, расчитанные с помощью данных реанализа ERA5, и данных радиозондирования Карагандинской аэрологической станции за период с 2012 по 2021 годы. Общие инверсии чаще всего встречаются в январе (15…18 раз), в то время как весной и осенью среднемесячное количество случаев равно 4...10. В летнее время чаще всего втречаются приземные инверсии, их серднемесечное значение достигает до 25 раз. Интенсивность различных приземных инверии варьируется в пределах -1 °C ... -9 °C. Результаты исследования показали близкое сходство между полученными от реанализа ERA5 и данными радиозондирования. Это свидетельствует о пригодности данных реанализа для изучения термических инверсий. Данное исследование вносит вклад в развитие знаний в области загрязнения атмосферы, прогнозирования погоды, авиационной метеорологии и разработки климатических моделей путем использования данных реанализа для изучения явлений инверсии.

Ключевые слова: инверсия, атмосфера, радиозонд, реанализ ERA5.