ЛЕКЦИЯ 4

Қауіпті конвекция



Турсумбаева Мадина Оразгазиевна
PhD, аға оқытушы
Метеорология және Гидрология кафедрасы

Дәрістің мақсаты және оқу нәтижелері

Дәрістің мақсаты

Терең конвекцияның даму жағдайлары мен тұрақсыздық көрсеткіштерін түсіндіру, нақты оқиға мысалында қауіпті дауылдарды жерсеріктік суреттер арқылы бақылау тәсілдерін көрсету.

Оқу нәтижелері

Дәрісті меңгерген студент:

1. конвекцияның даму шарттарын және Cumulonimbus бұлтының құрылымын (анвил, тесіп өтетін шың) сипаттайды;
2. CAPE, CIN және Lifted Index көрсеткіштерінің мағынасын түсіндіреді;
3. көрінетін, инфрақызыл және су буы арналарын бірге қолданып, конвекцияның даму сатыларын бақылайды;
4. тесіп өтетін шың, таралатын ағын (outflow) және Enhanced V белгілерін суреттен таниды;
5. суперұяшық пен мезомасштабты конвективтік кешеннің (MCC) ерекшеліктерін ажыратады.

Конвекция

Күшті тік қозғалыспен қозғалатын терең бұлттар.

Тығыздығы аз ауа жоғары көтеріледі.

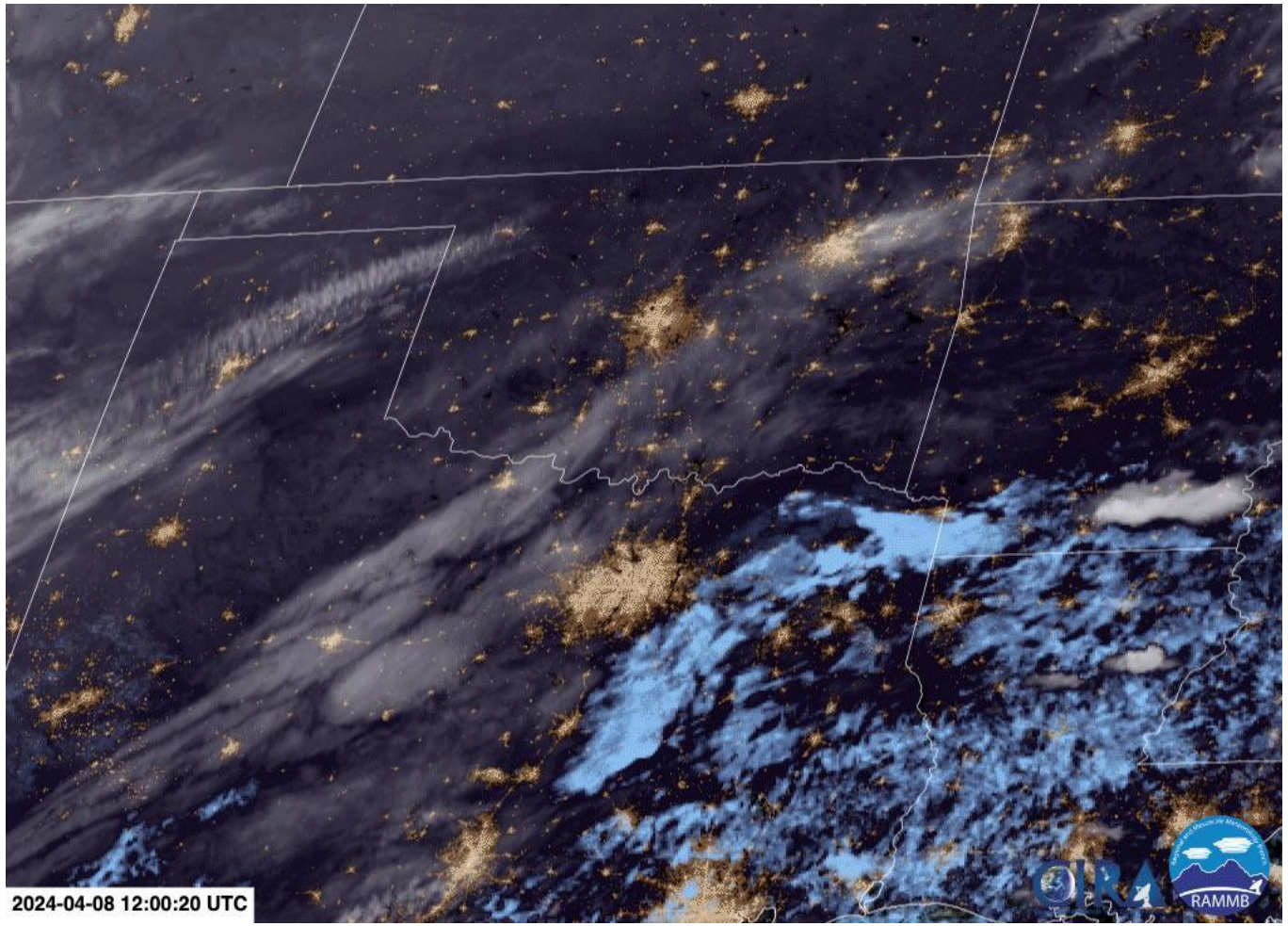
- Жылы ауа
- Көбірек су булары бар ауа

Жоғары көтерілетін ауа массасы мен оны қоршаған ортаның арасындағы тығыздық айырмашылығы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым ол тез көтеріледі.

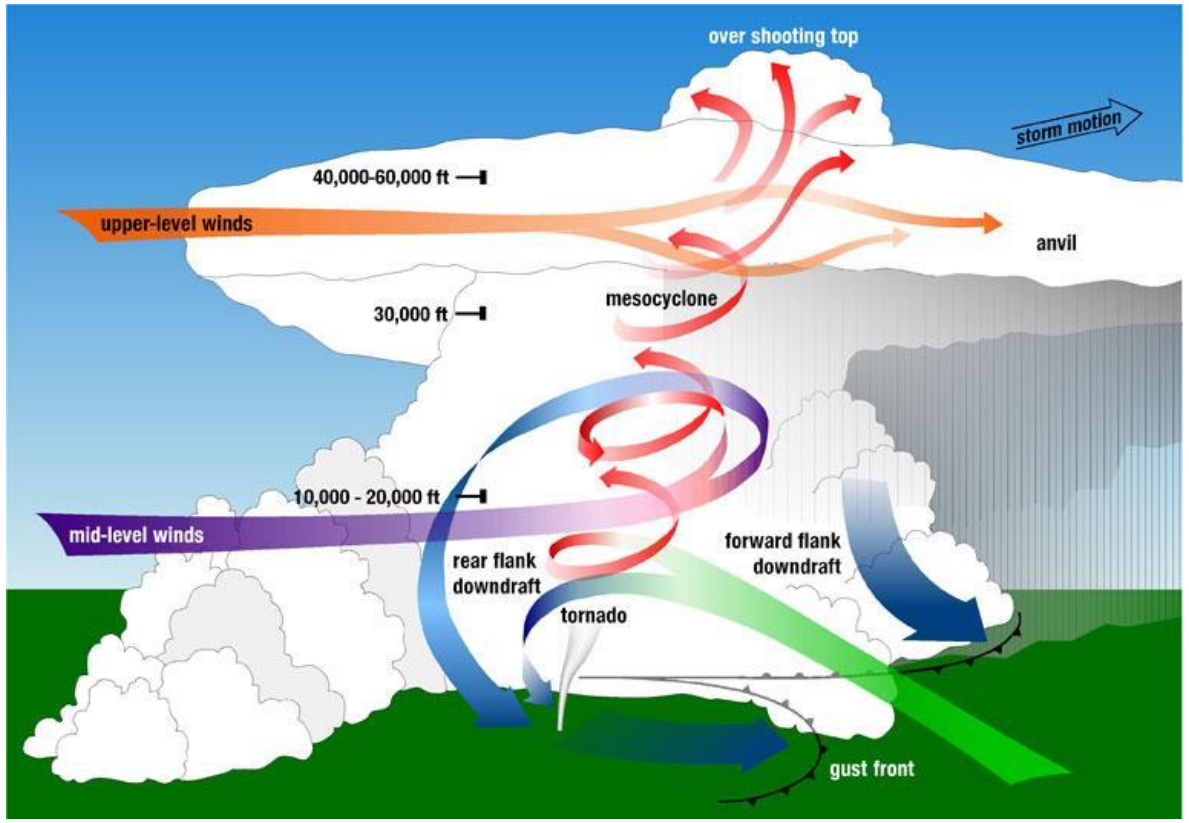


https://www.youtube.com/watch?v=ni_6E2fib6g&t=0s

Конвекцияға Күн қажет



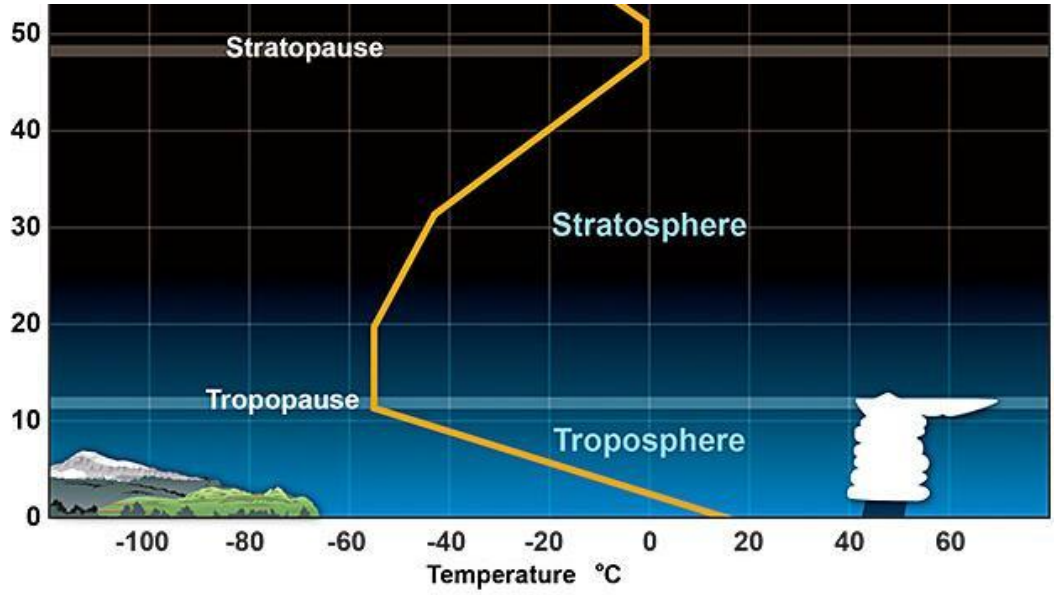
Cumulonimbus бұлттар



Source: Wikipedia



Cumulonimbus бұлттар



NOAA



NASA

Күшті көтерілетін ағын (апстрим) ауаны жоғары итеріп, ол тропопаузаның тұрақты қабатына жеткенше көтеріледі.

- Ауа одан әрі көтеріле алмайды, сондықтан жан-жаққа таралады, нәтижесінде анвил (ұшындағы жазық бұлт) түзіледі.
- Ерекшелік: Overshooting top (тесіп өтетін шың)
  - Көтерілетін ағынның қозғалыс инерциясы жеткілікті күшті болса, ол тропопаузаны сәл тесіп өтеді.

Cumulonimbus дамуы



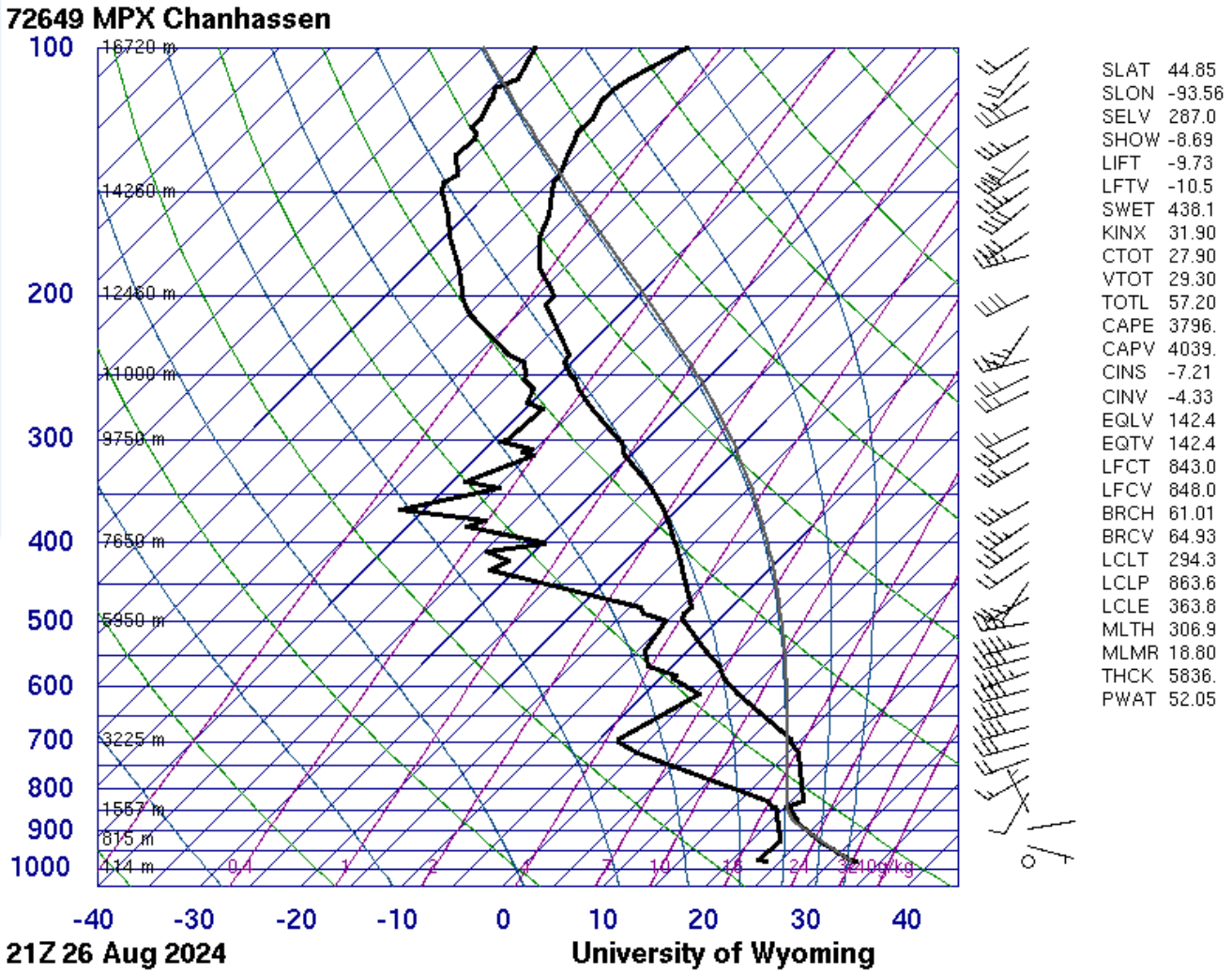
Source: https://www.youtube.com/watch?v=I2Cm_nmgB1g

Ауа массасының көтерілуі және қалқымалылығы

Көтерілетін ауа массасы жоғарылаған сайын салқындайды.

- Қанықпаған ауа үшін –10°C/km
- Қаныққан ауа үшін –5-6°C/km

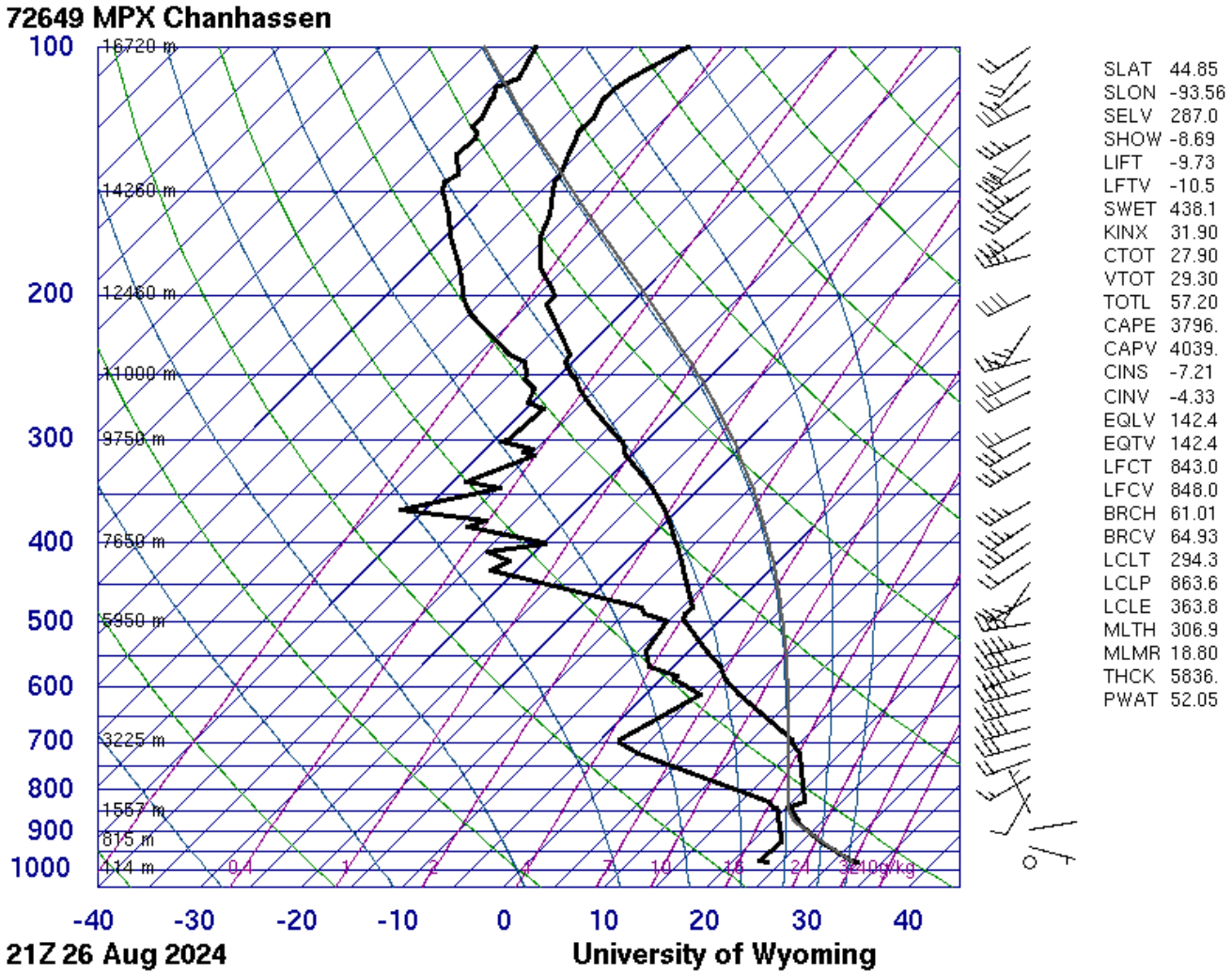
Егер ауа массасы қоршаған ортадағы ауадан жылы болса, ол көтеріле береді.



Ауа массасының көтерілуі және қалқымалылығы

Бұл сызық ауа массасының қозғалыс траекториясын көрсетеді.

Көтерілген ауа массасы **бұлт негізіне дейін тез салқындайды**, содан кейін **баяу салқындайды**.



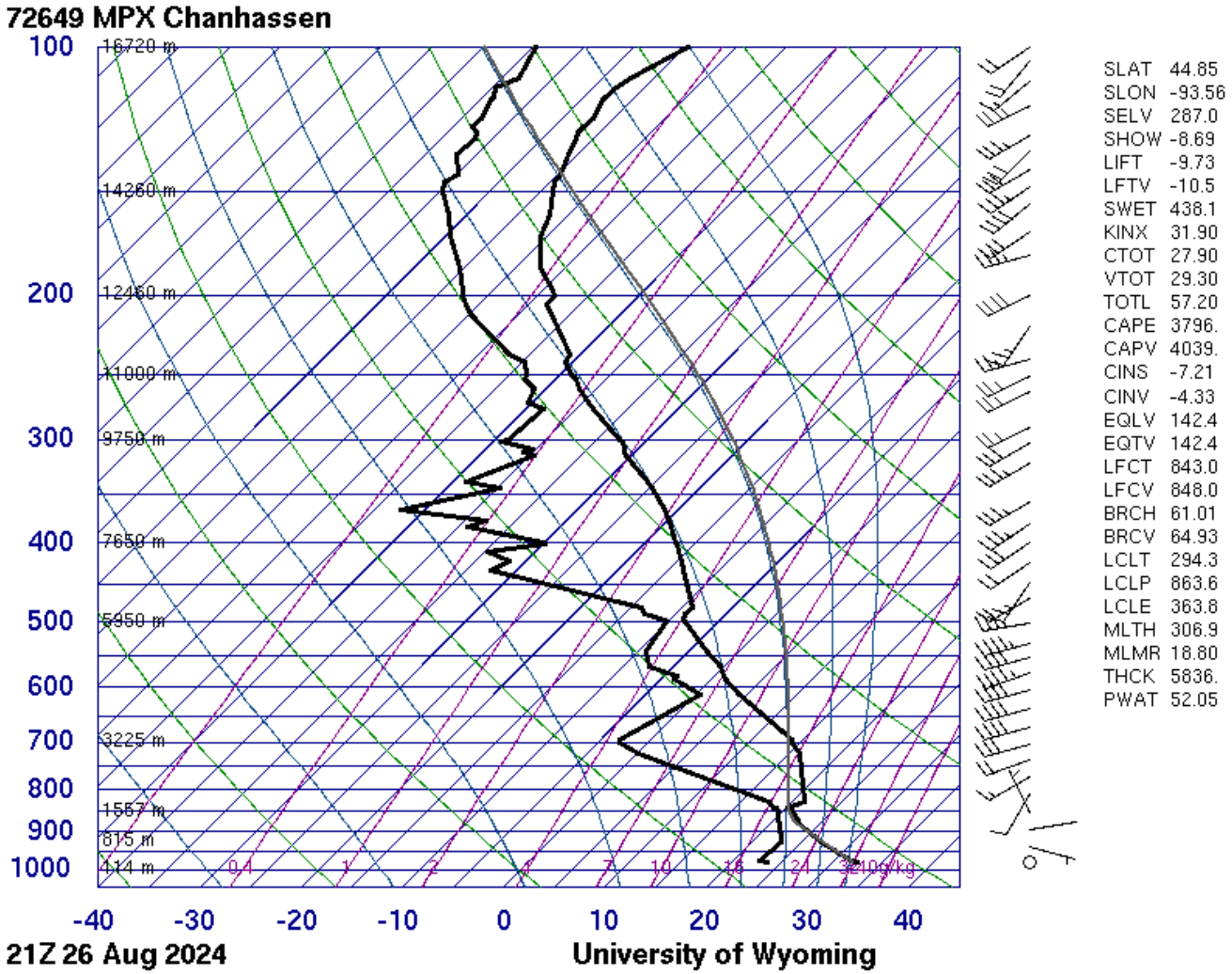
CAPE: дауылды қуаттандыру

Бұл аймақ көтерілетін ауа массасы қоршаған ортадан жылырақ болатын жерді көрсетеді.

Оң қалқымалылық (Positive buoyancy)! Бұл аймақтың өлшемі маңызды:

- Температура айырмашылығы неғұрлым үлкен болса, қалқымалылық күші соғұрлым жоғары,
- Бұл аймақ диаграммада соғұрлым үлкенірек көрінеді.

Бұл құбылысты Конвективті қолжетімді потенциалдық энергия (CAPE) ретінде сандық түрде сипаттауға болады.
Өлшем бірлігі: Джоуль/килограмм



$$w = \sqrt{2 \times CAPE}$$

CIN: Конвекция дамуын тежейтін фактор

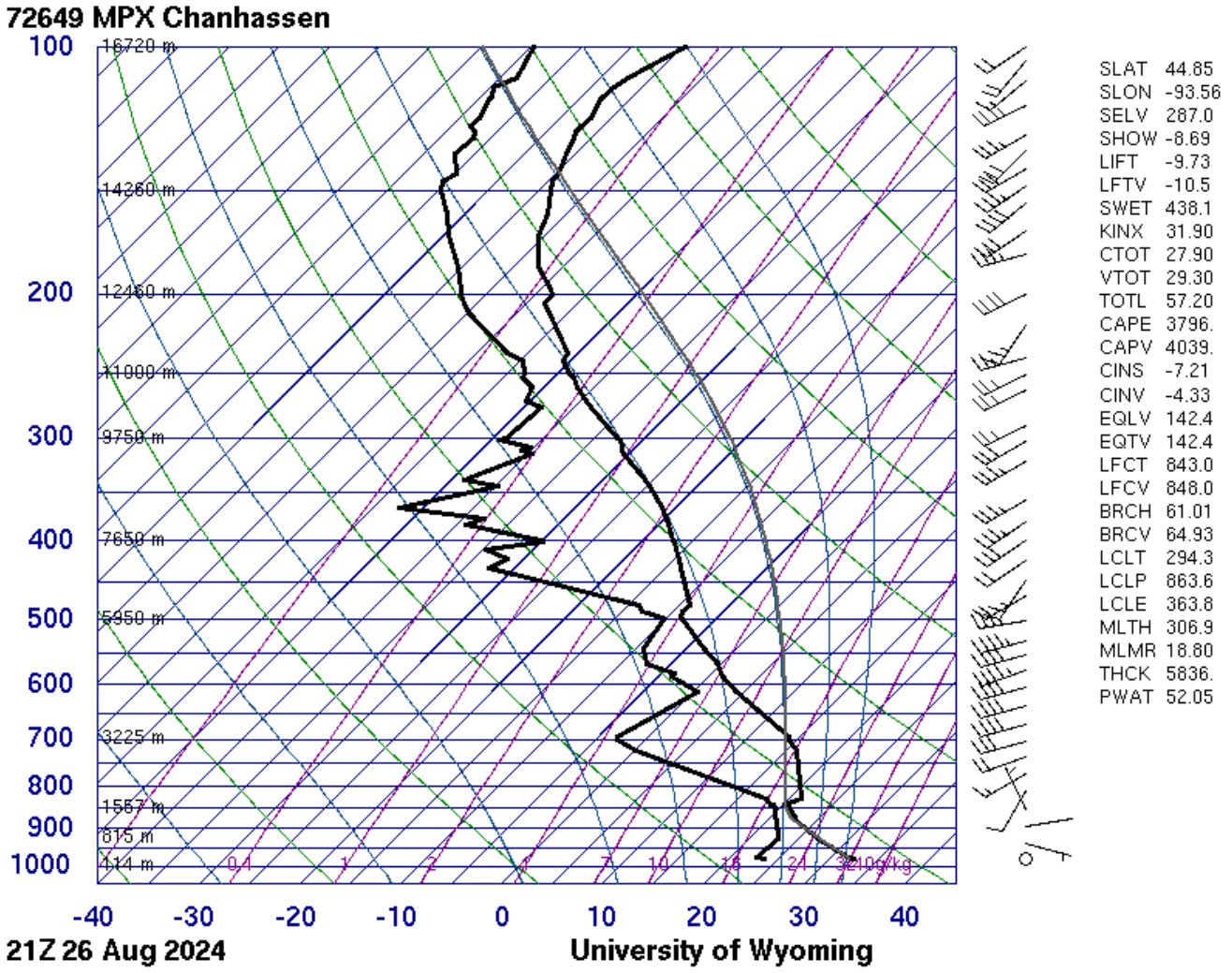
Бірақ!

Көтерілетін ауа массасы оң энергияны пайдалану үшін алдымен теріс энергияны еңсеруі керек. Бұл кезде ауа массасы қоршаған ортадан суықтау болады, сондықтан оның көтерілуі тежеледі. Оны белгілі бір биіктіктен жоғары итермелеу қажет.

CIN-ді жеңуге көмектесетін факторлар:

- Суық фронт немесе басқа тығыздық градиенті
- Жоғарғы деңгейдегі динамикалық мәжбүрлеу
- Жер бедерінің әсері (орографиялық көтерілу)
- Конвергенция (ауа ағындарының түйісуі)

Бұл құбылыс Конвективтік тежелу (CIN) деп аталады.

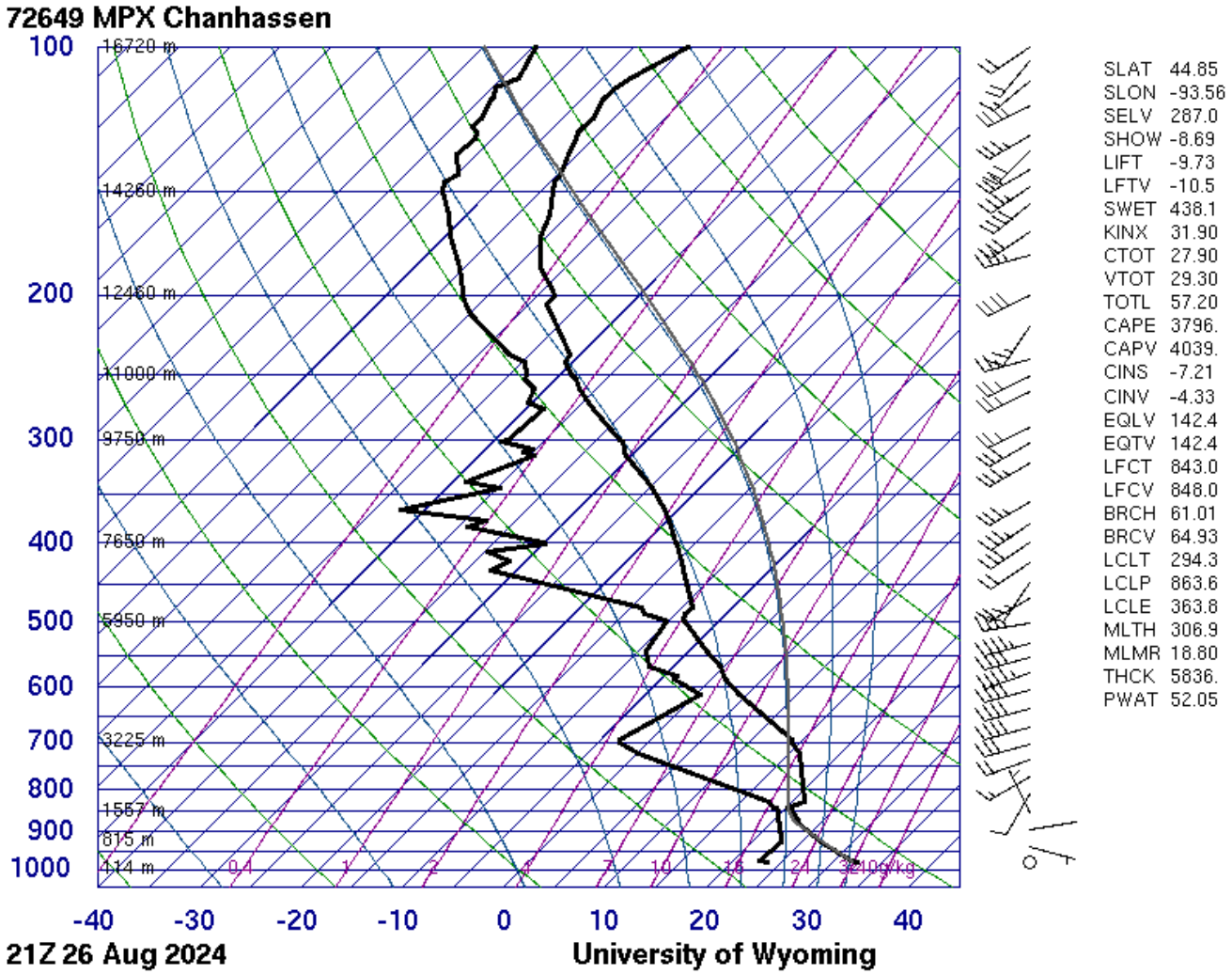


Lifted Index

Lifted Index (LI) – атмосфераның тұрақсыздығын бағалаудың өте қарапайым әдісі.

Өте қарапайым: 500 hPa деңгейіндегі қоршаған ортаның температурасы мен көтерілген ауа массасының температурасының айырмашылығы.

Неғұрлым теріс болса, соғұрлым атмосфера тұрақсыз.

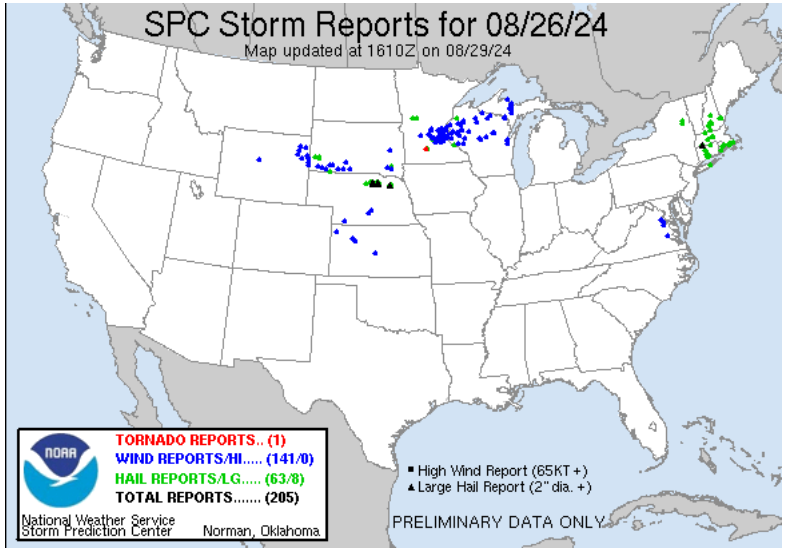


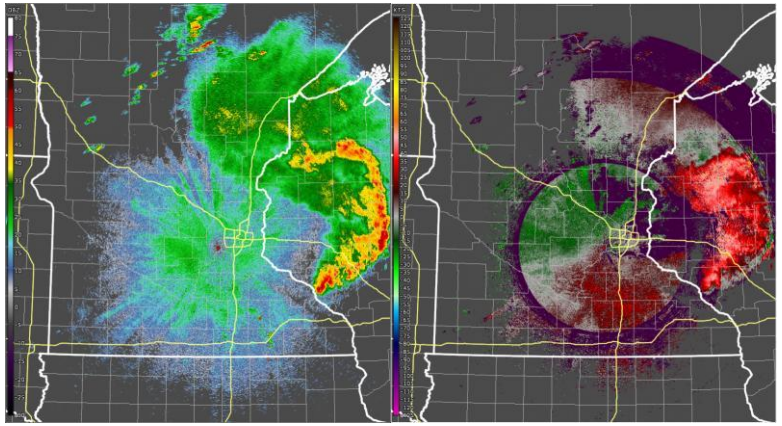
Кейстік зерттеу: 2024 жылғы 26 тамыз

АҚШ-тың солтүстік жазығында бірқатар ірі дауылдар қалыптасты.

Негізгі салдары – ірі бұршақ және урагандық жылдамдықтағы желдер, сондай-ақ торнадо болды.

Бұл оқиғаны болжау және бақылау үшін жерсеріктерді қалай пайдалануға болады?

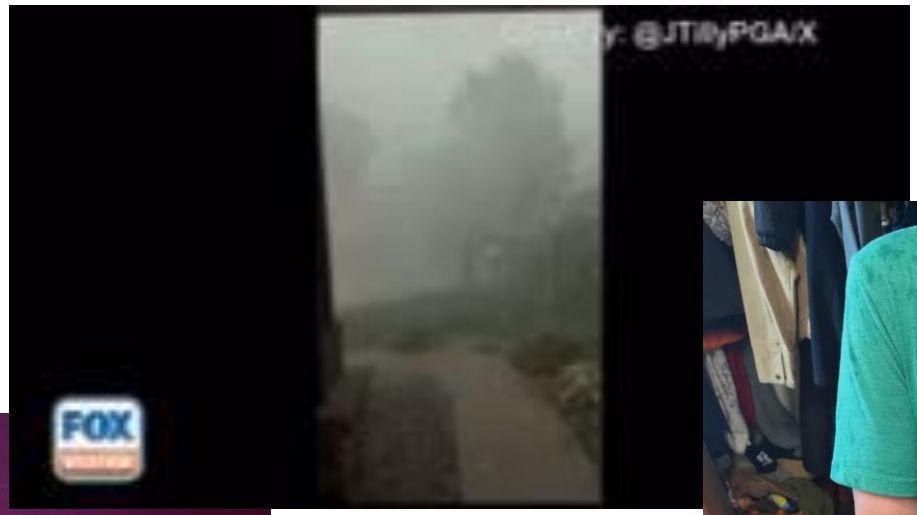




Дауылдың әсерлері

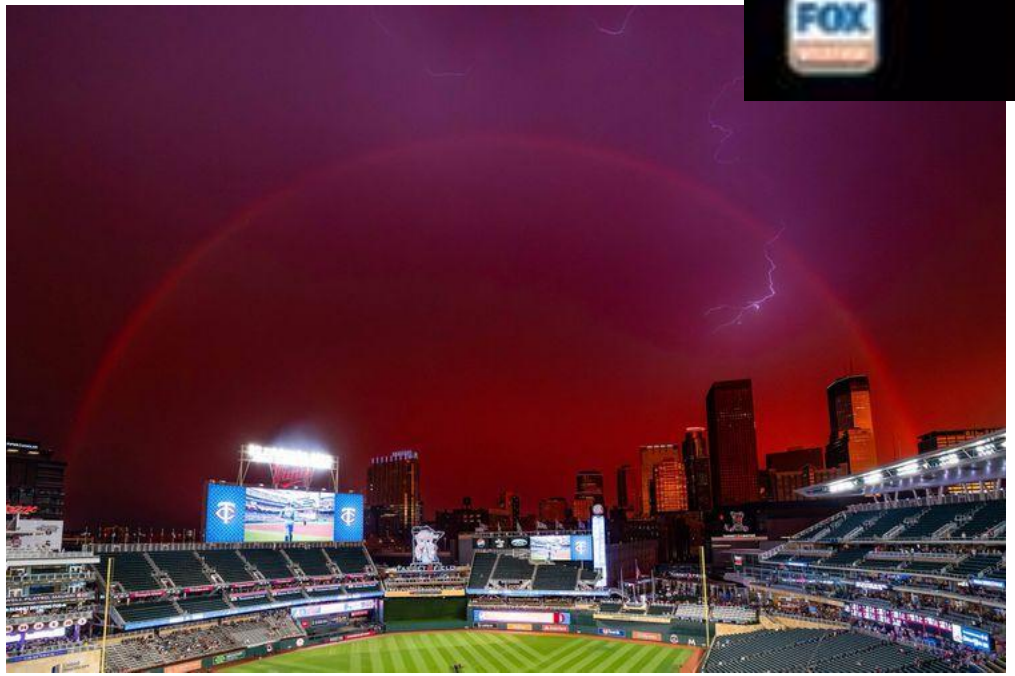


Minnesota Public Radio



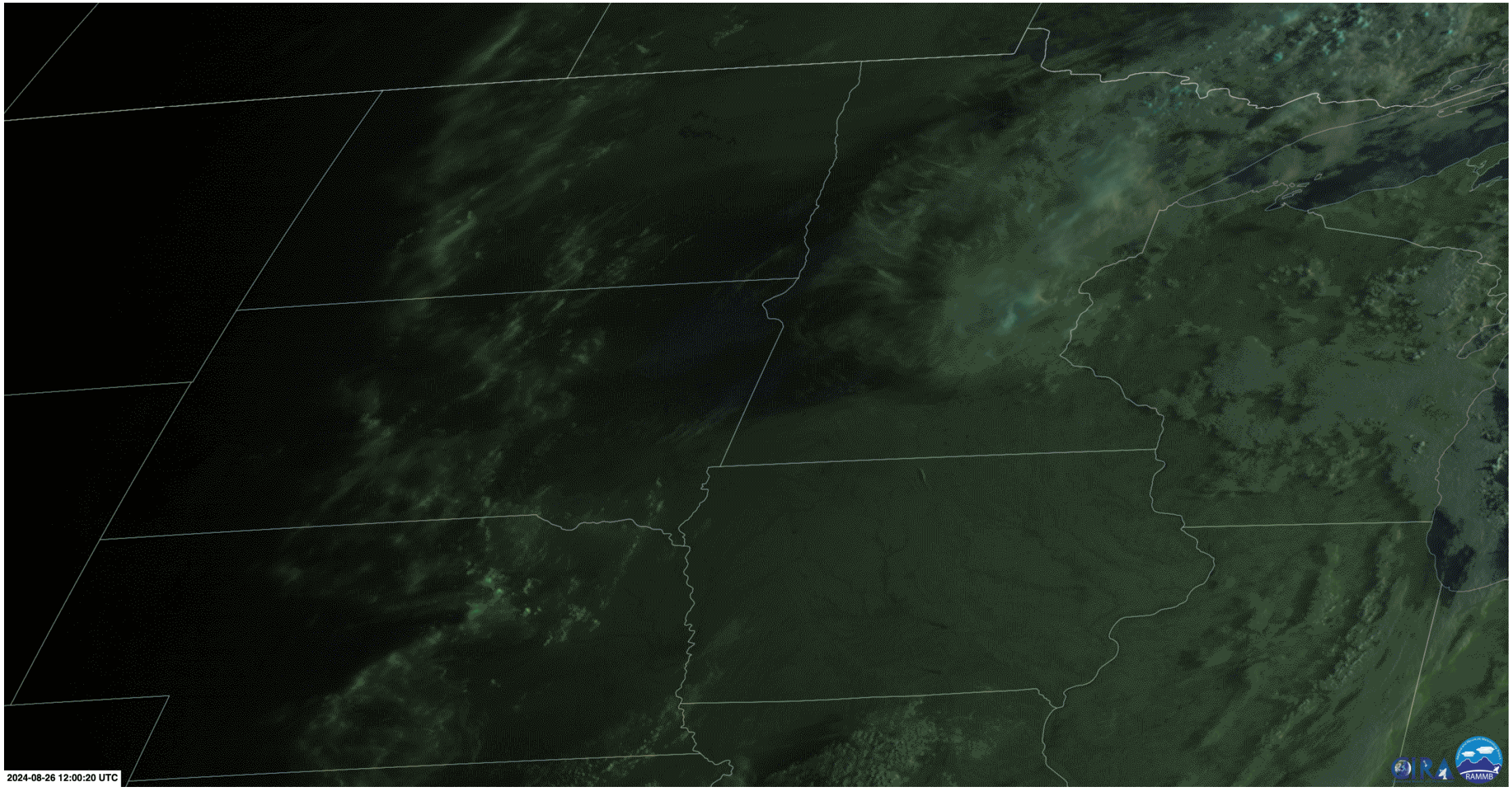


KBRX

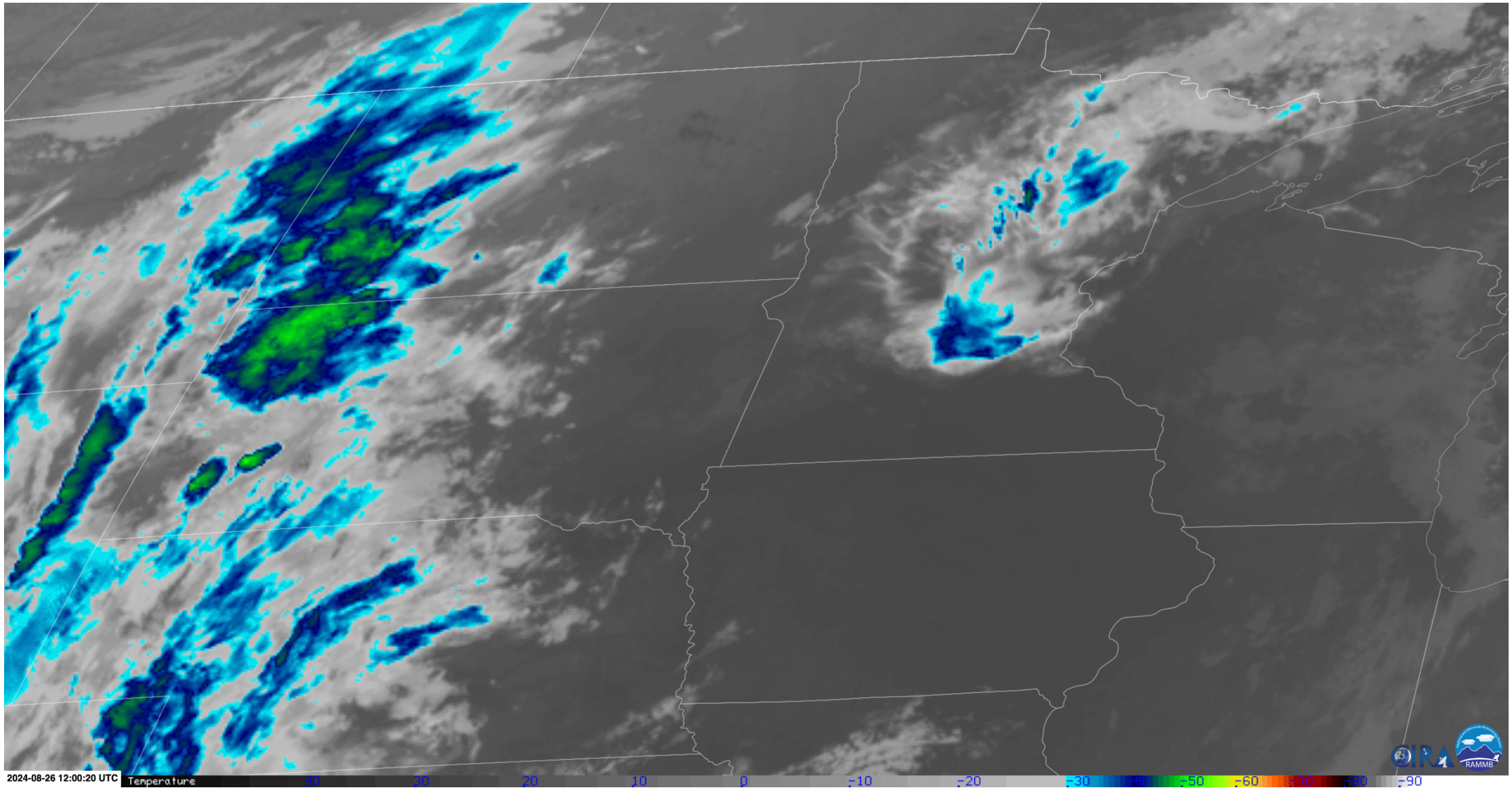


Minnesota Twins

Natural Color



Infrared Window

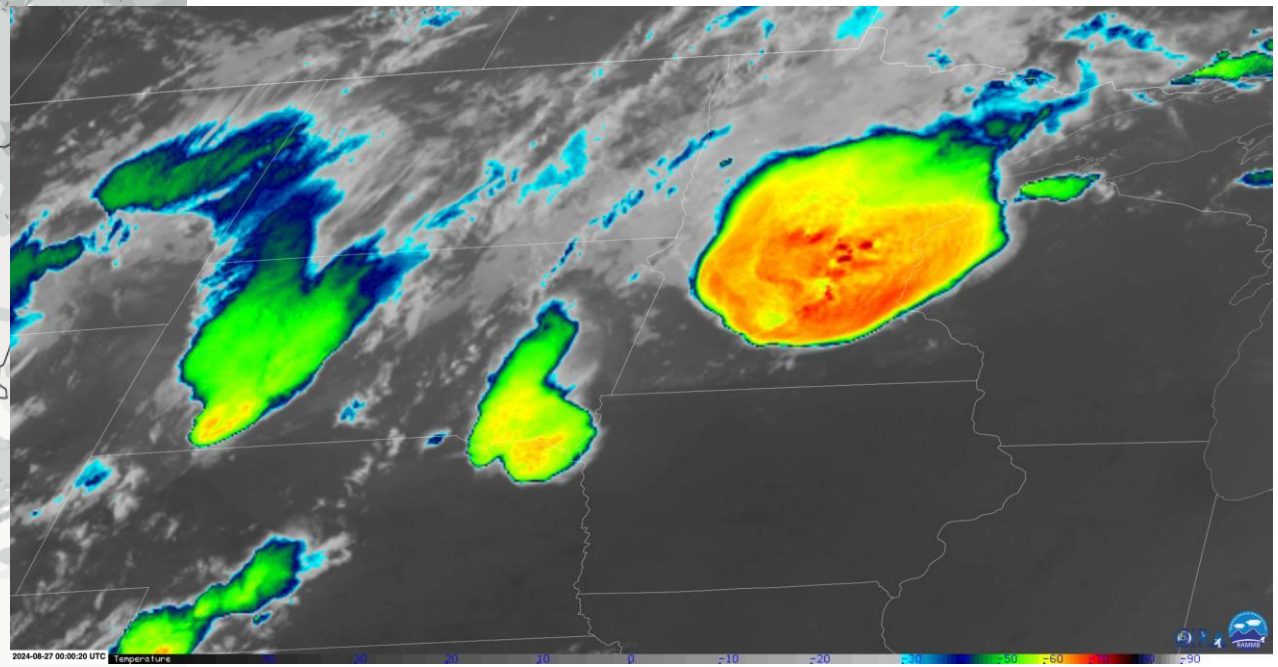


Low Water Vapor

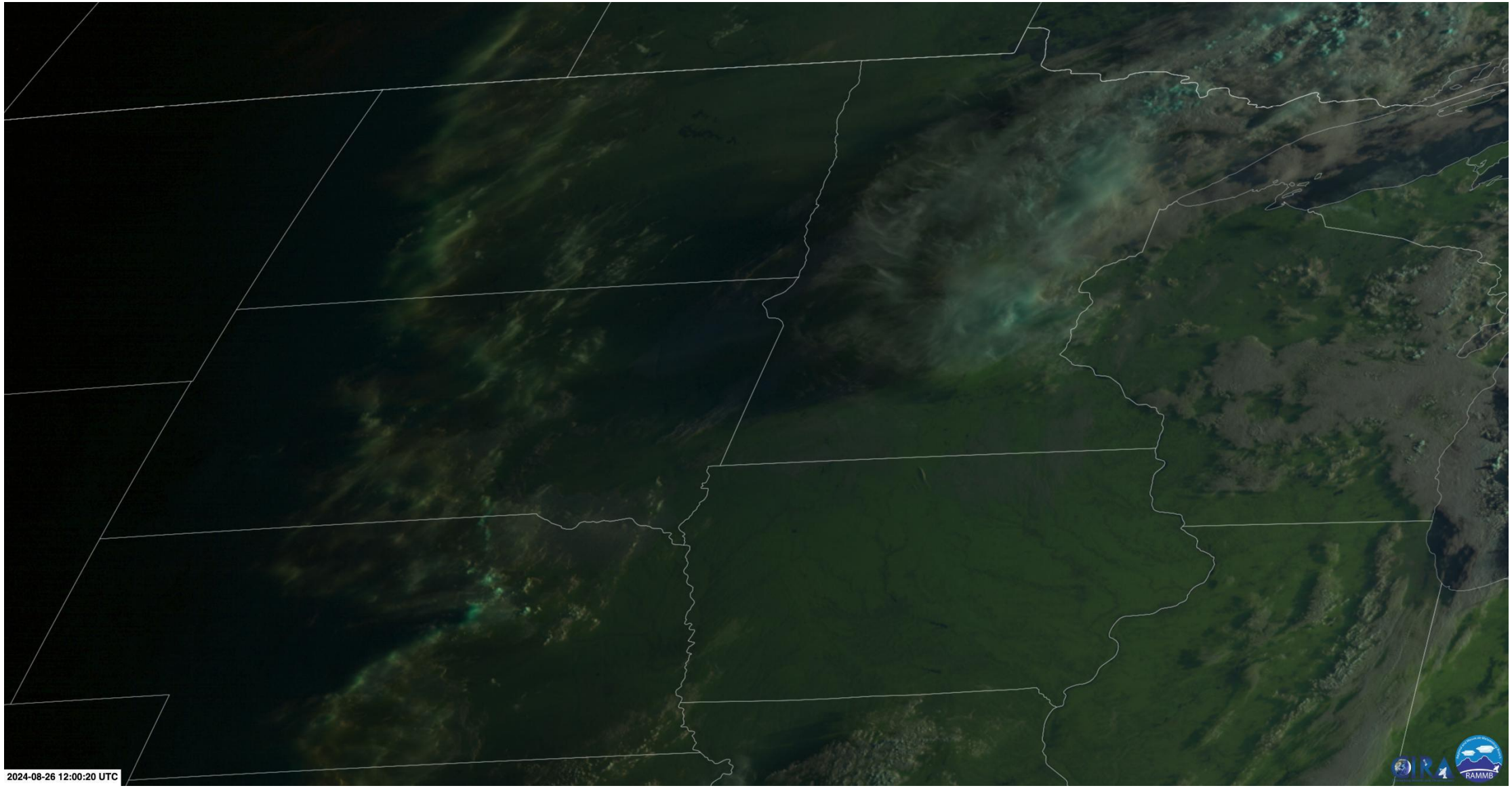
Бұл жердегі сурет/анимация PDF файлында сақталмаған — түпнұсқадан қойыңыз

Бұл дауыл өте үлкен болды!

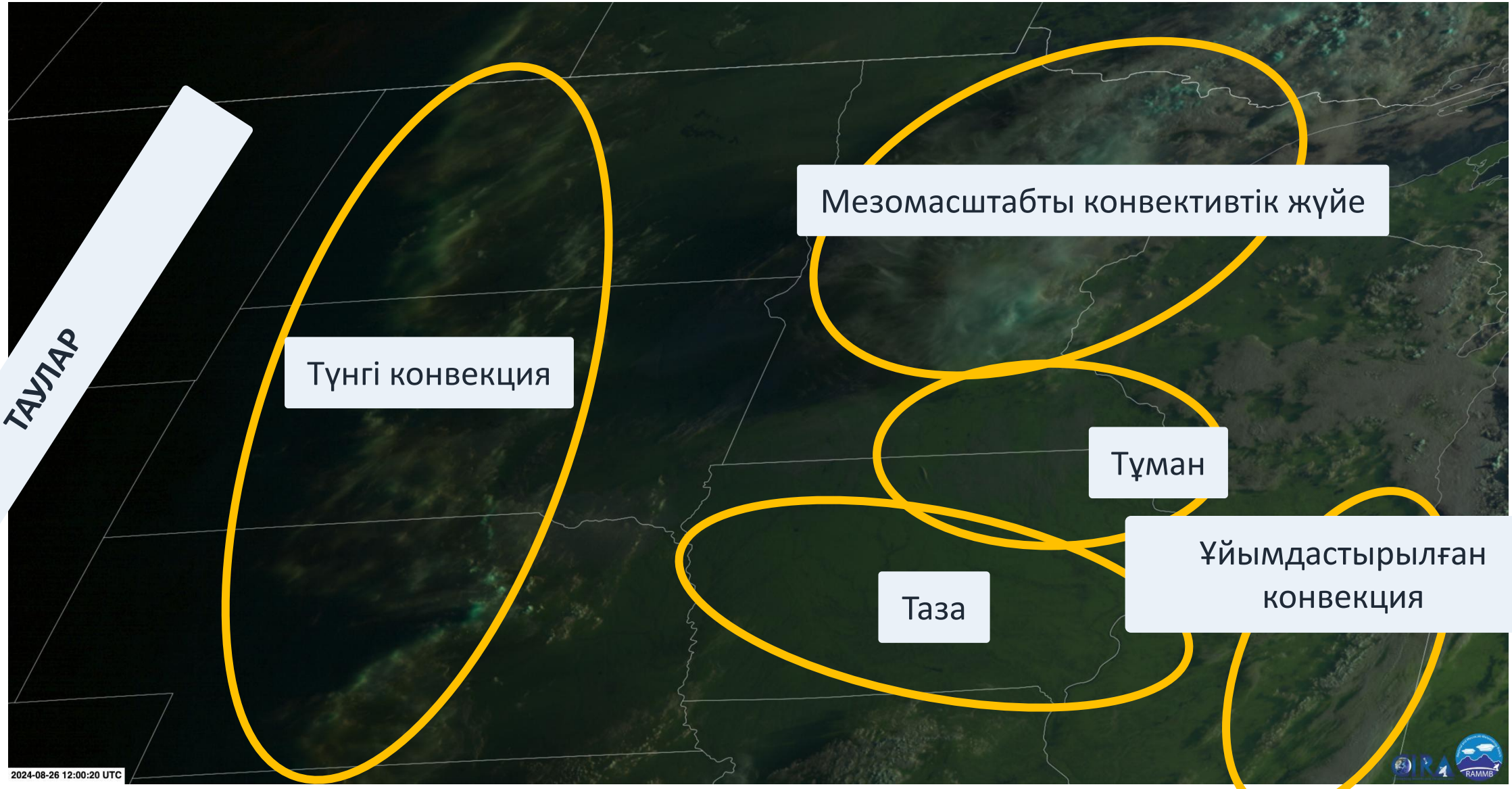




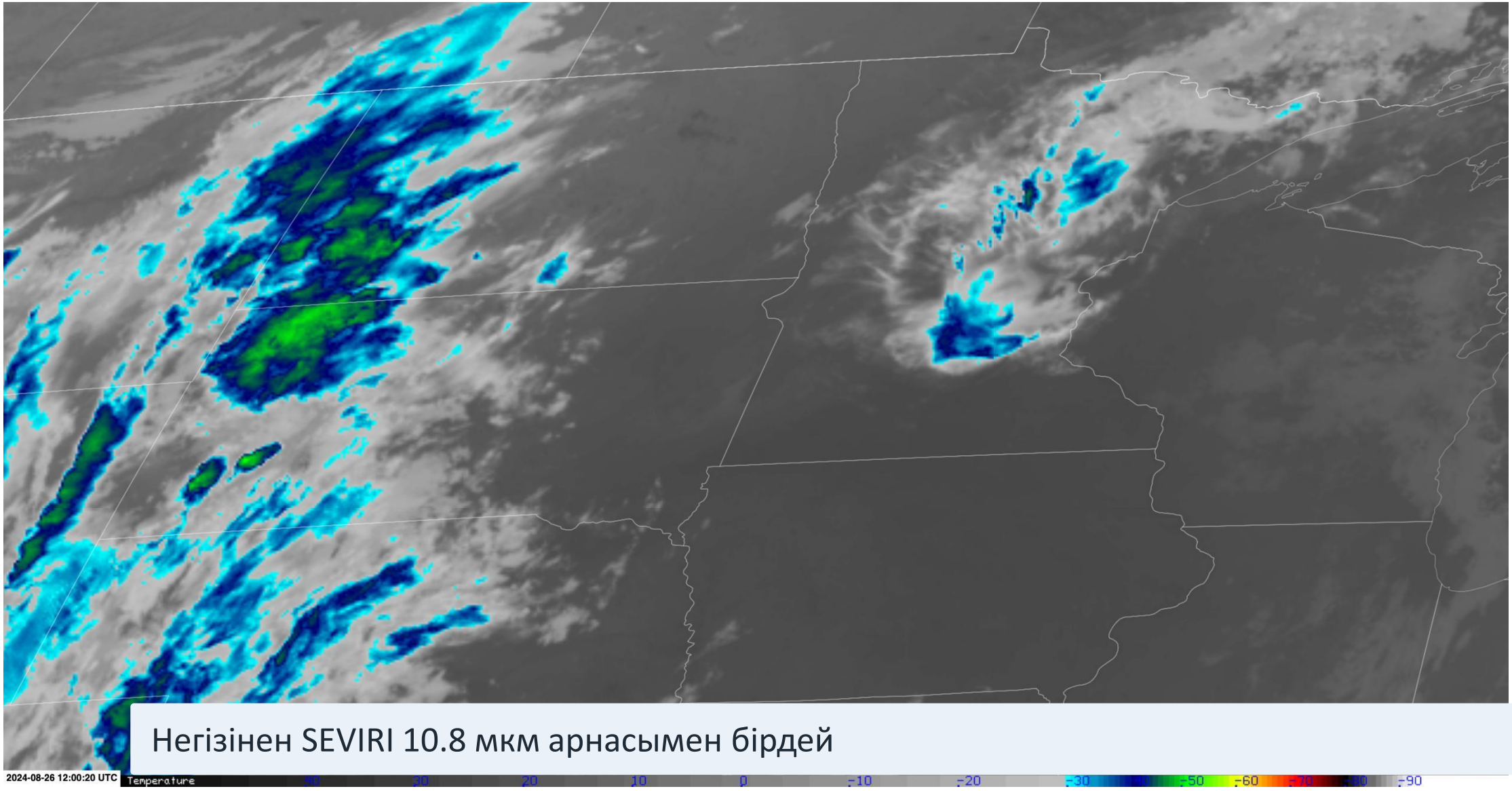
Natural Color: 1200 UTC (жергілікті 7:00)



Natural Color: 1200 UTC (жергілікті 7:00)

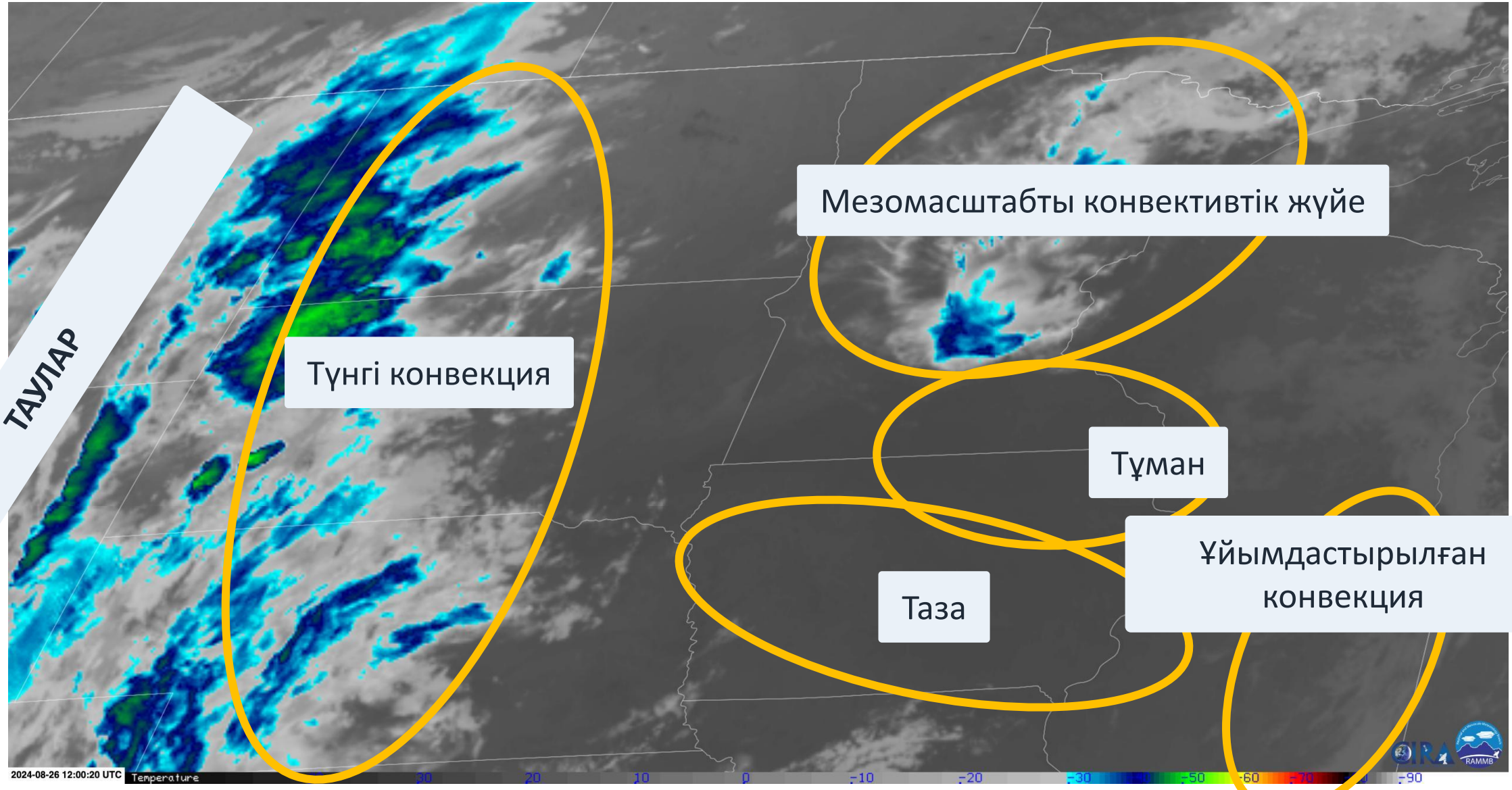


10.3 µm: 1200 UTC (жергілікті 7:00)

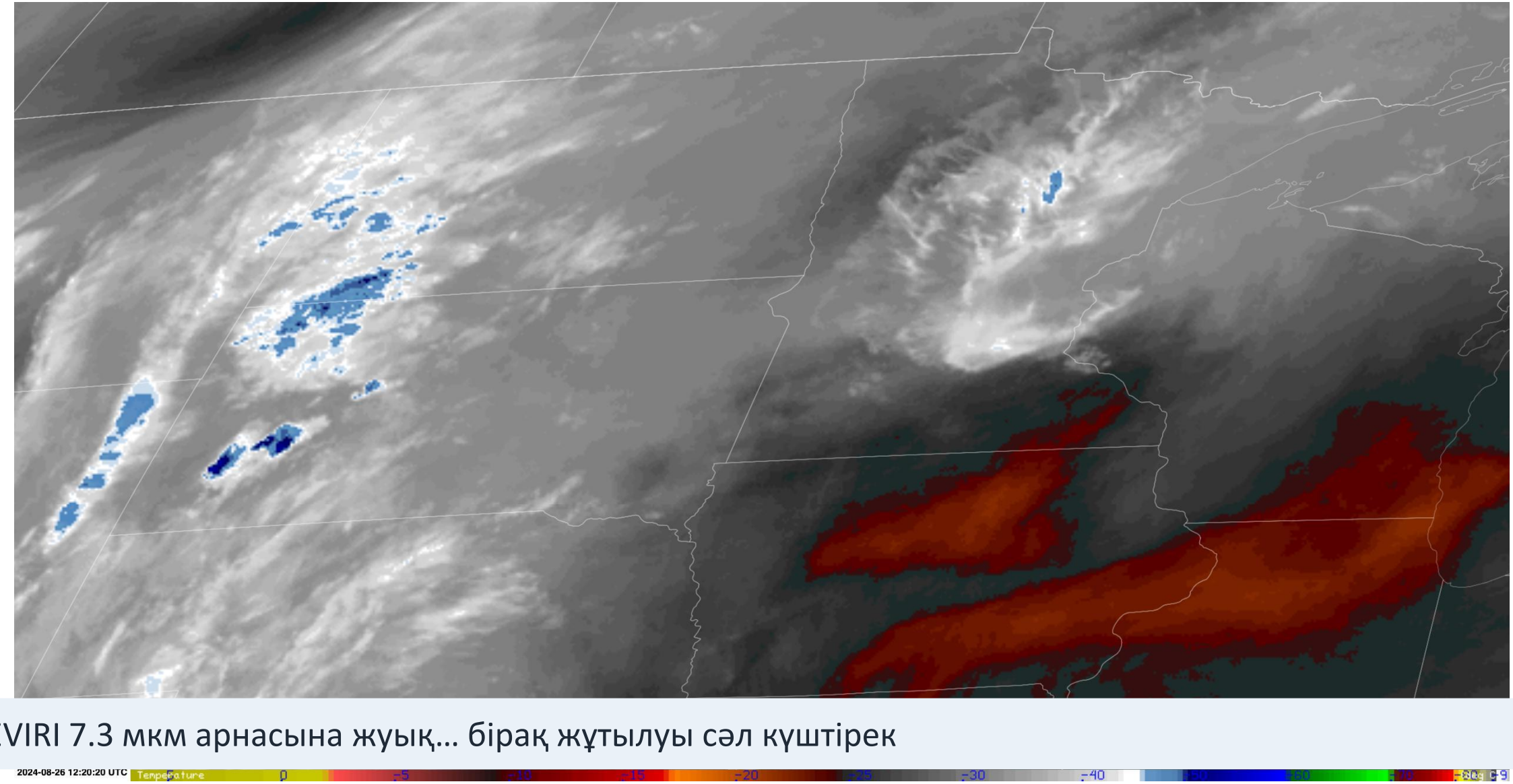


Негізінен SEVIRI 10.8 мкм арнасымен бірдей

10.3 µm: 1200 UTC (жергілікті 7:00)

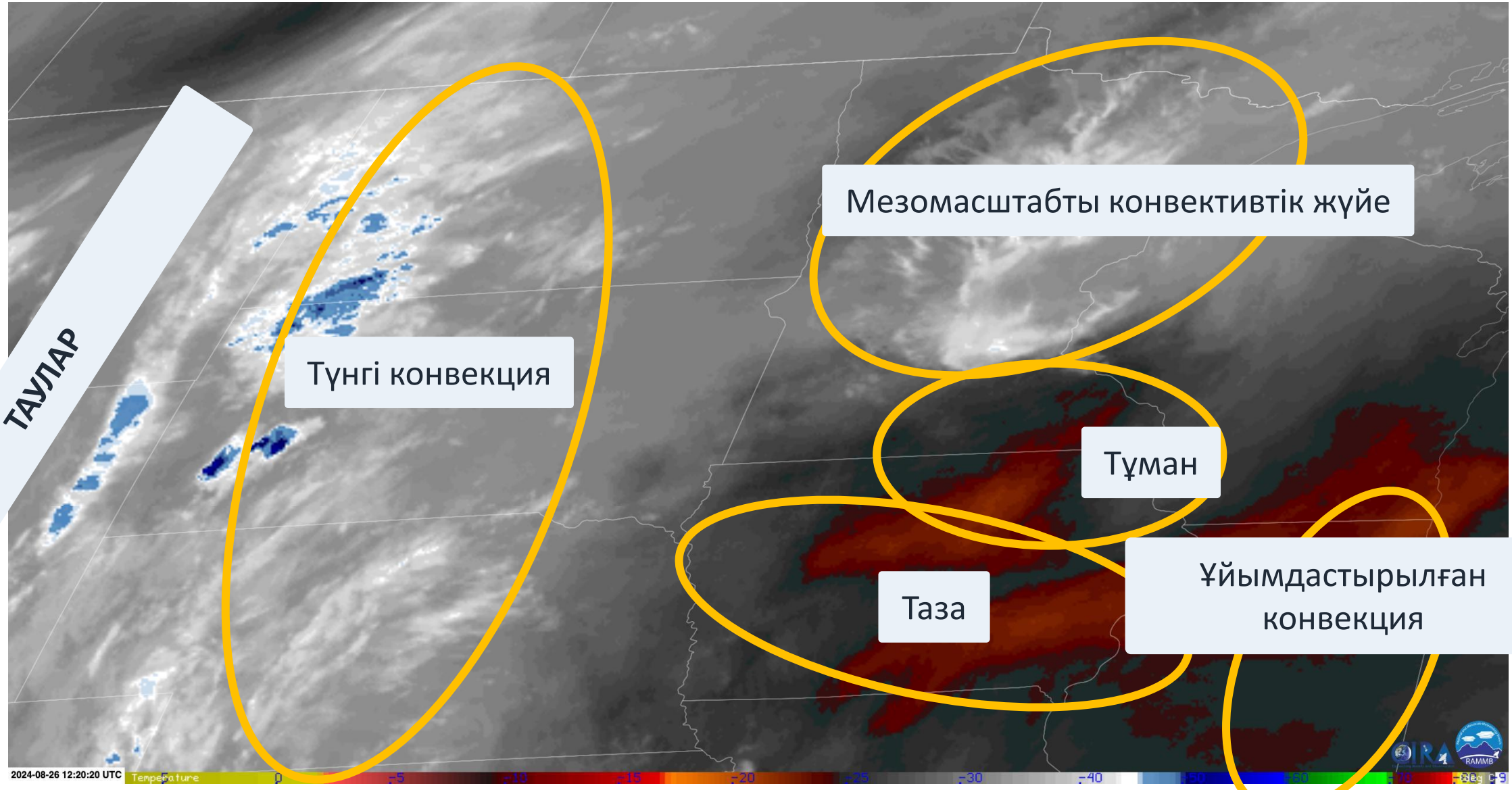


6.9 µm: 1200 UTC (жергілікті 7:00)



SEVIRI 7.3 мкм арнасына жуық… бірақ жұтылуы сәл күштірек

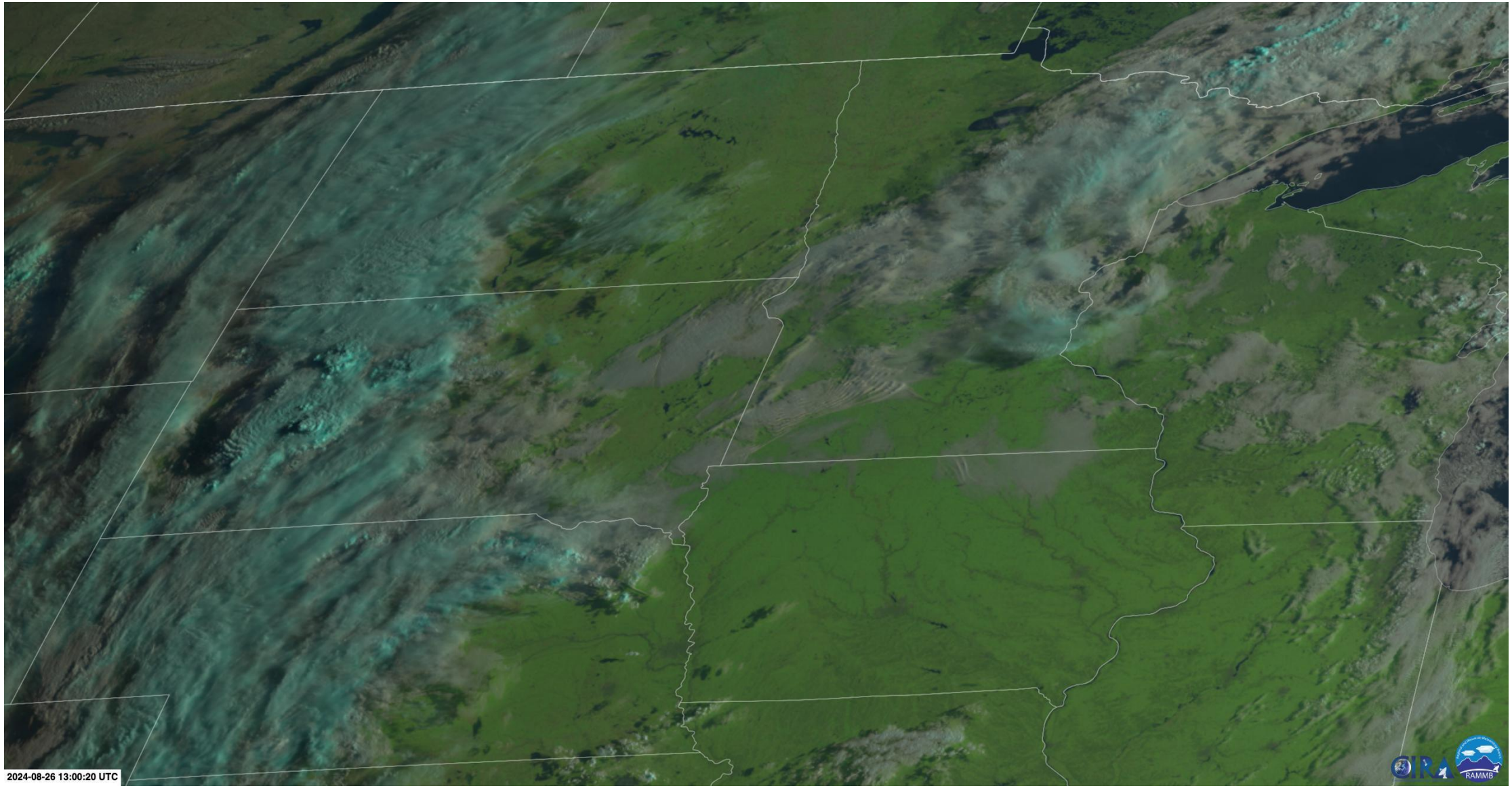
6.9 µm: 1200 UTC (жергілікті 7:00)



6.9 µm: 1200 UTC (жергілікті 7:00)



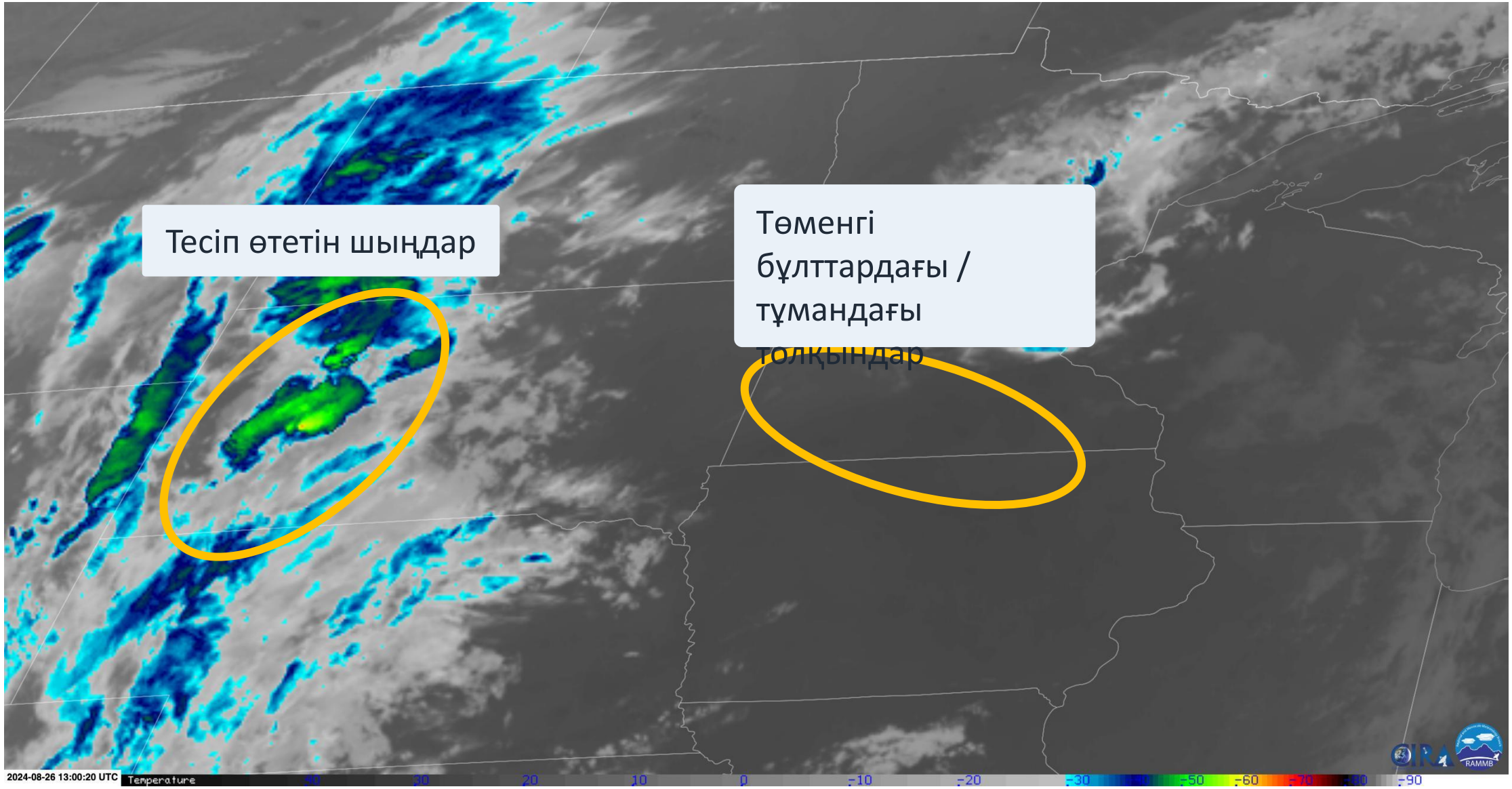
Natural Color: 1300 UTC (жергілікті 8:00)



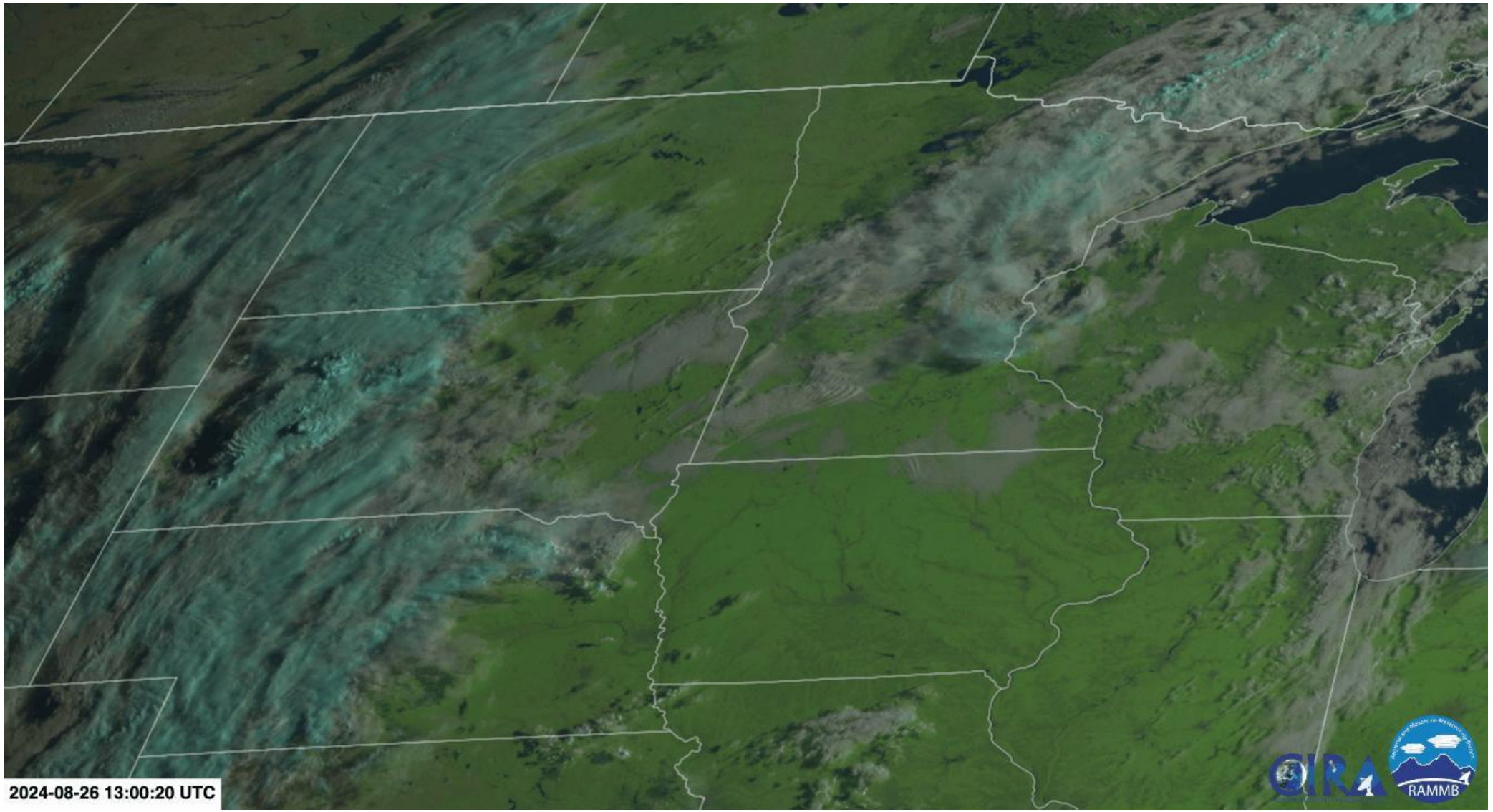
Natural Color: 1300 UTC (жергілікті 8:00)



Natural Color: 1300 UTC (жергілікті 8:00)



Natural Color: 1300-1500 (8:00-10:00)



Natural Color: 1300-1500 (8:00-10:00)



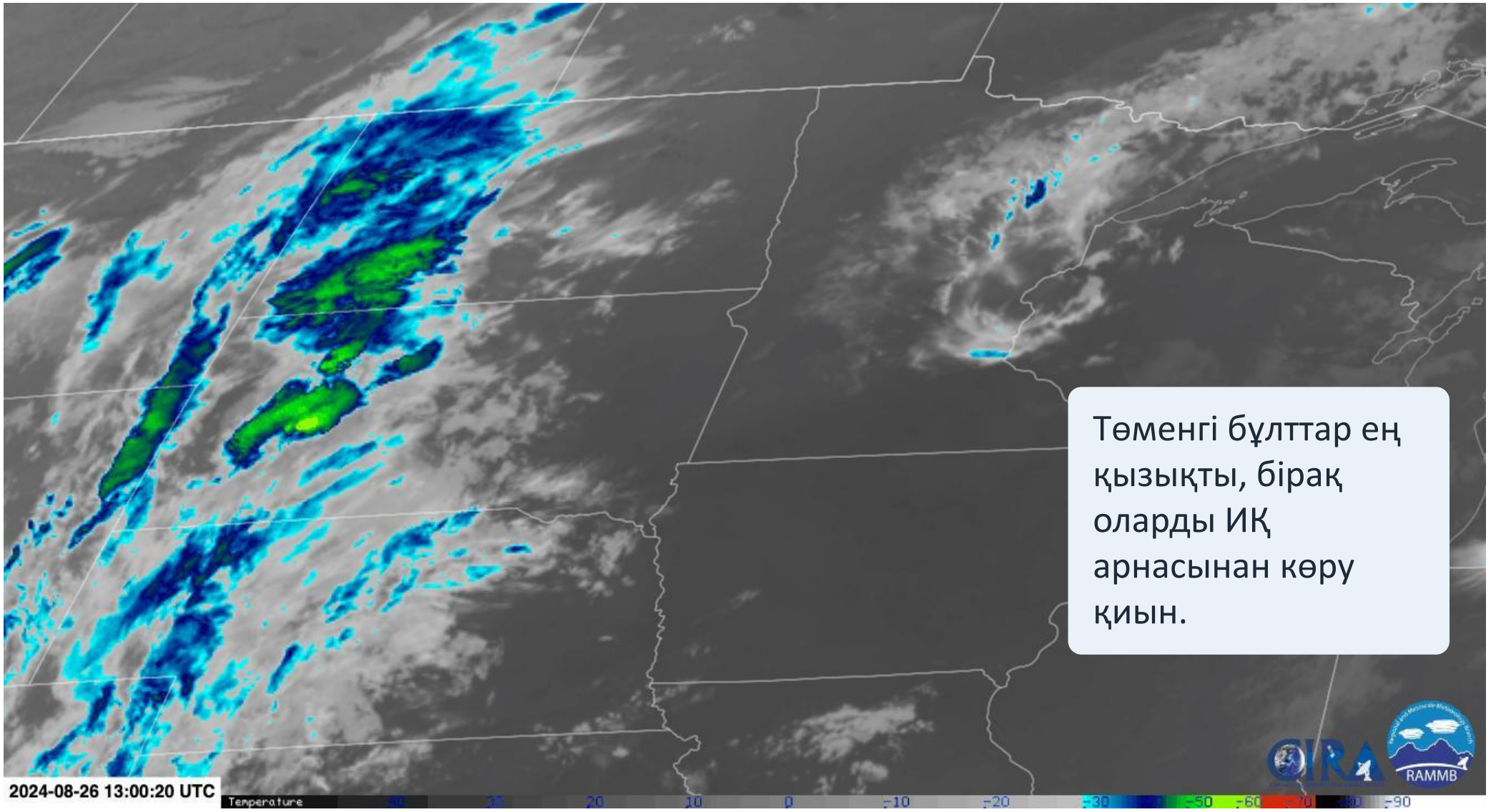
Natural Color: 1300-1500 (8:00-10:00)



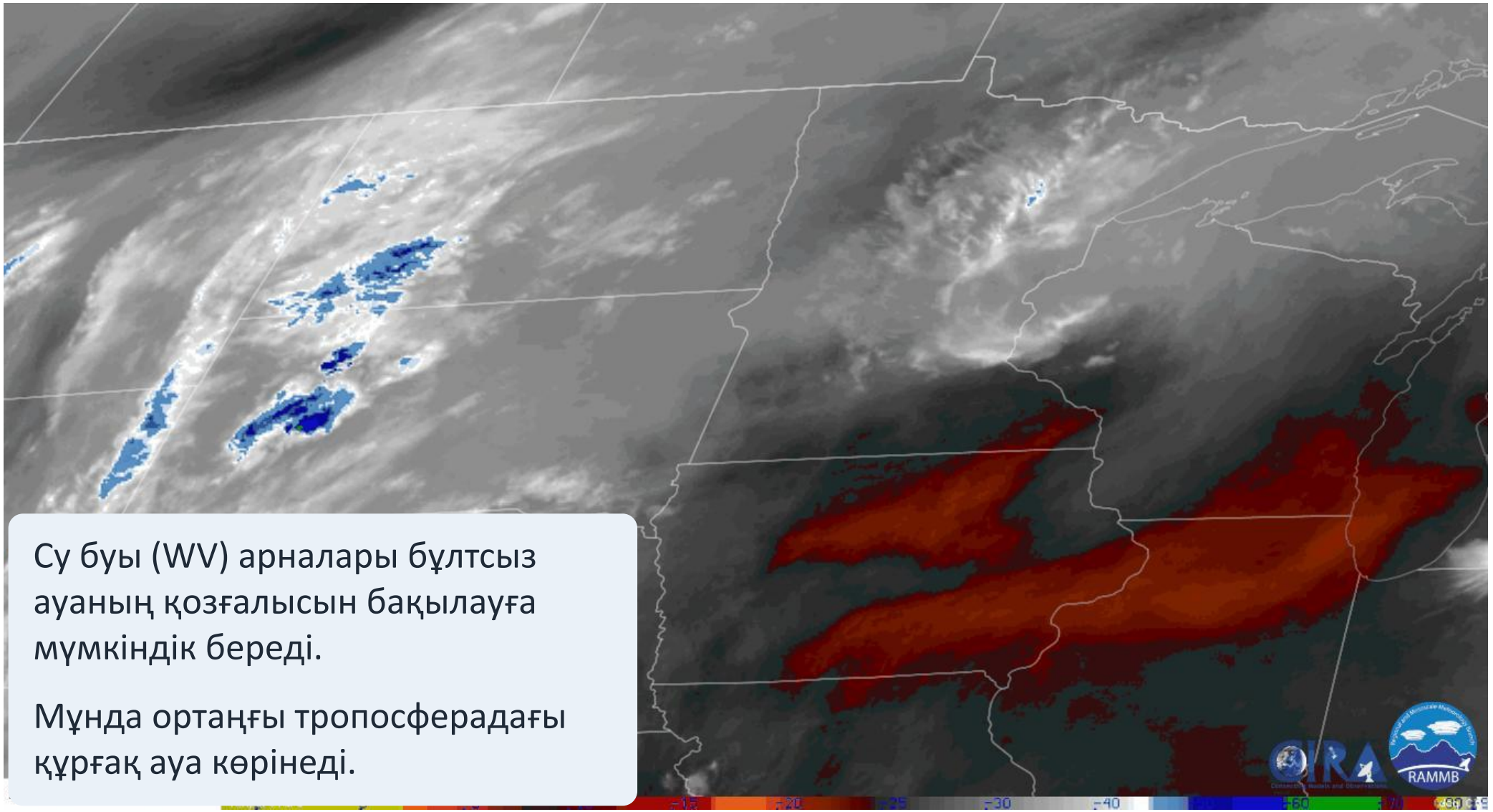
Бұл конвективтік бұлттар түзіліп, тез ыдырап жатыр.

Дегенмен олар тропосфераның ортаңғы қабатын ылғалдандырады.

IR window: 1300-1500 (8:00-10:00)



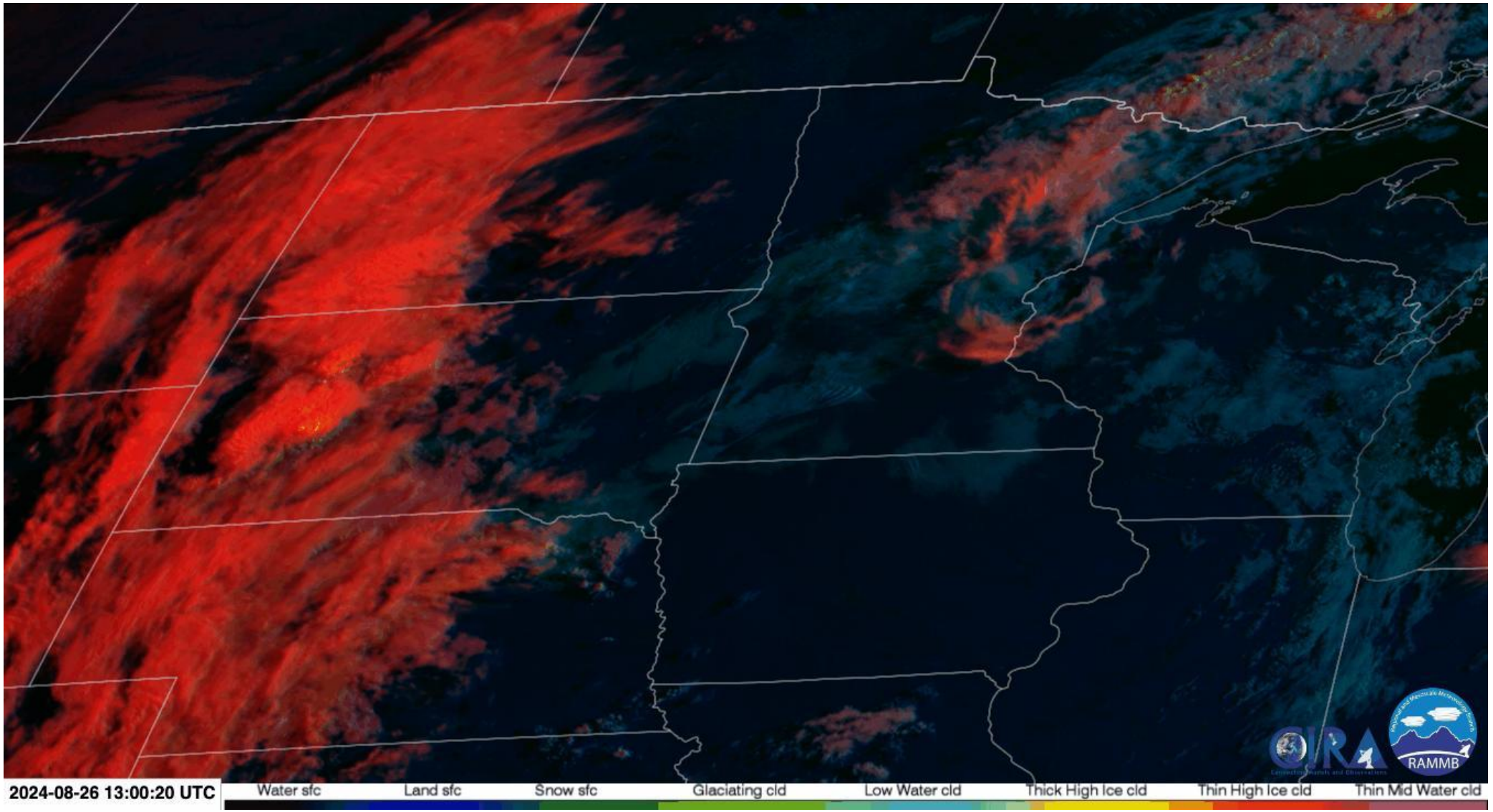
Midlevel H_2O: 1300-1500 (8:00-10:00)



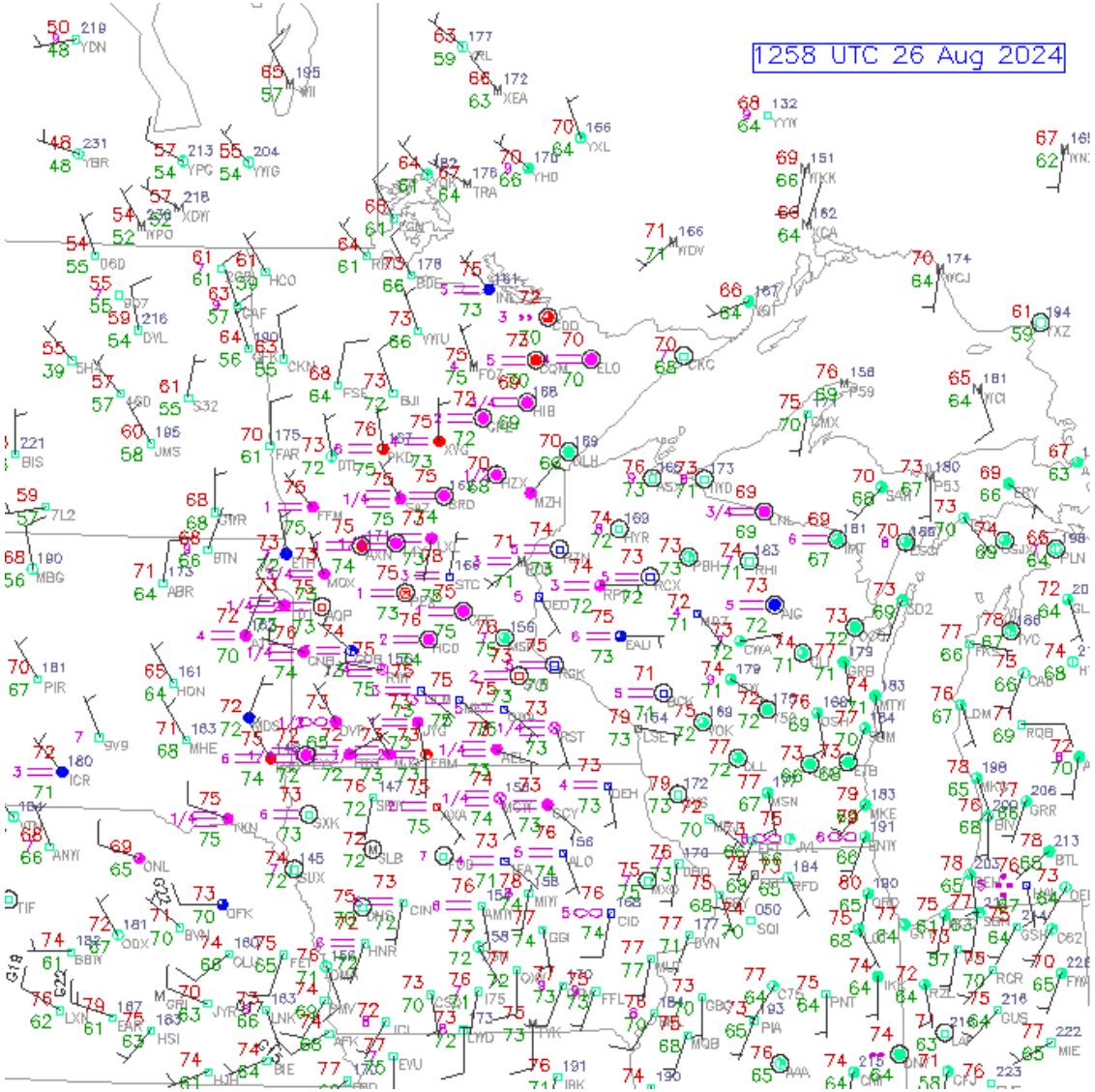
Су буы (WV) арналары бұлтсыз ауаның қозғалысын бақылауға мүмкіндік береді.

Мұнда ортаңғы тропосферадағы құрғақ ауа көрінеді.

Day Phase: 1300-1500 (8:00-10:00)



Жер беті: 1500 UTC (жергілікті 10:00)



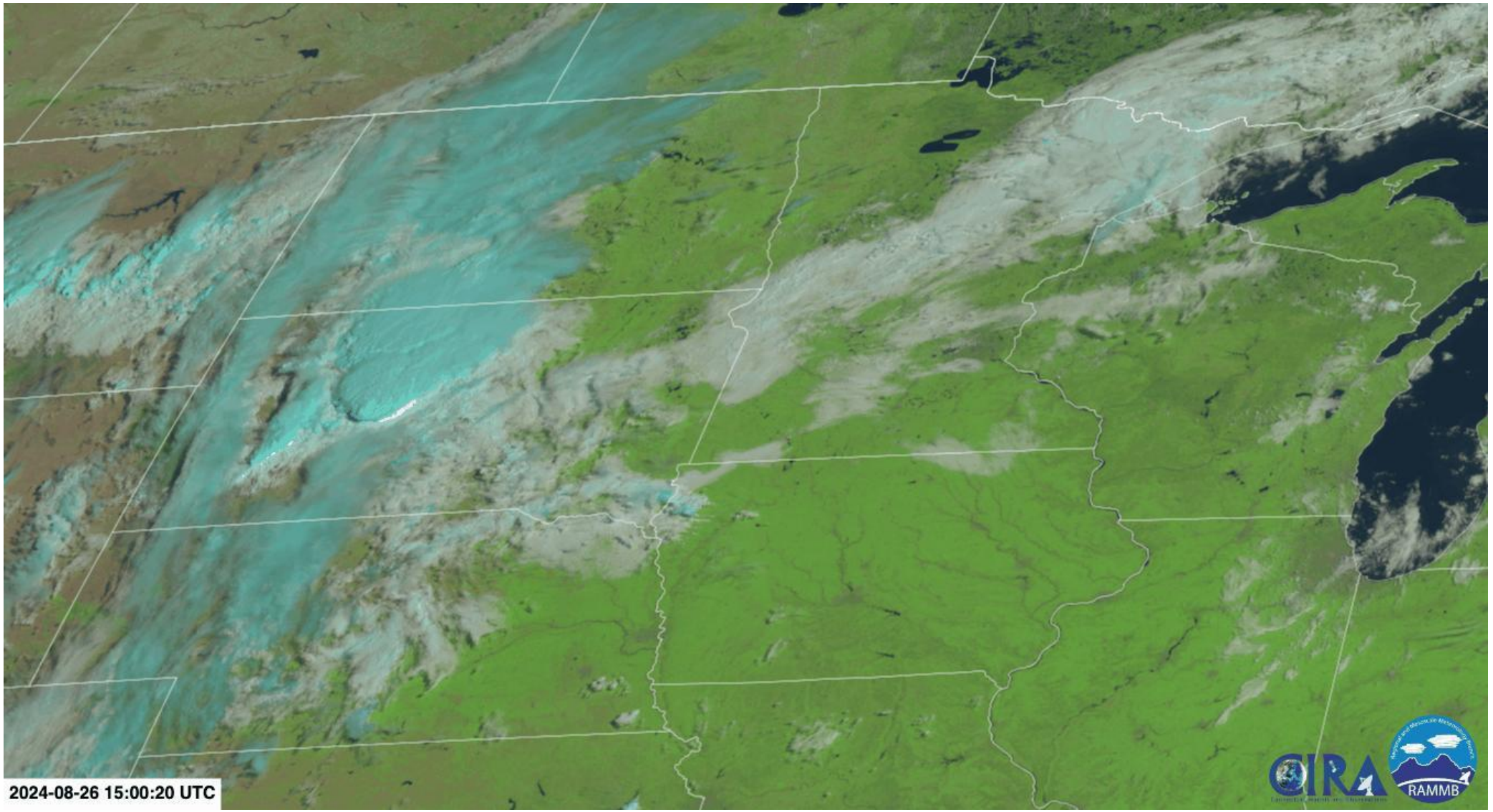
°F	°C
60	15.5
65	18.3
70	21.1
75	23.9
80	26.7
85	29.4
90	32.2
95	35.0

Аспанның ашылуы, тұманның сейілуі және күндізгі қызу температураның көтерілуіне ықпал етеді.

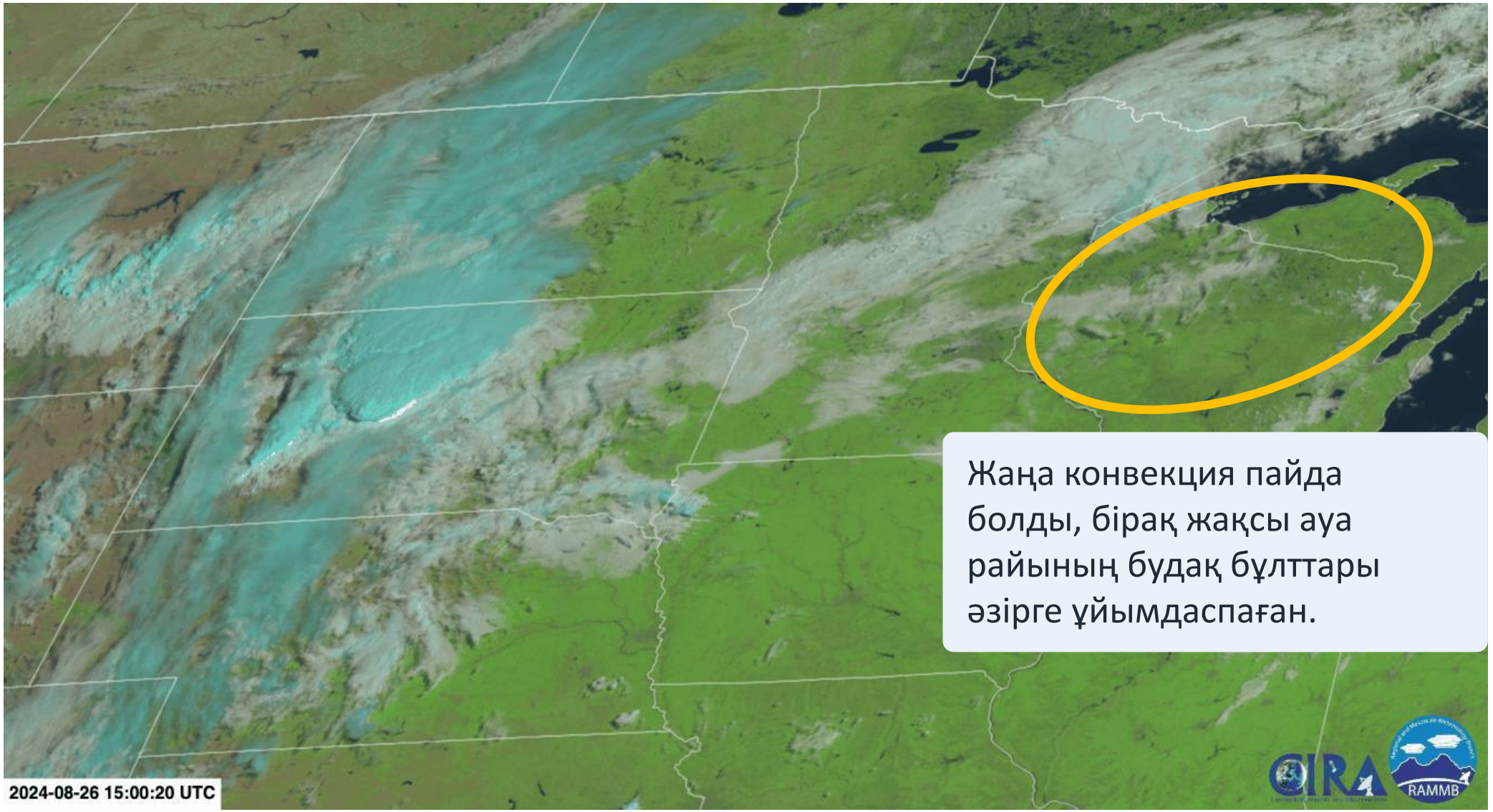
2 сағатта +5 °C

Конвергенция шекарасы қалыптасып келеді.

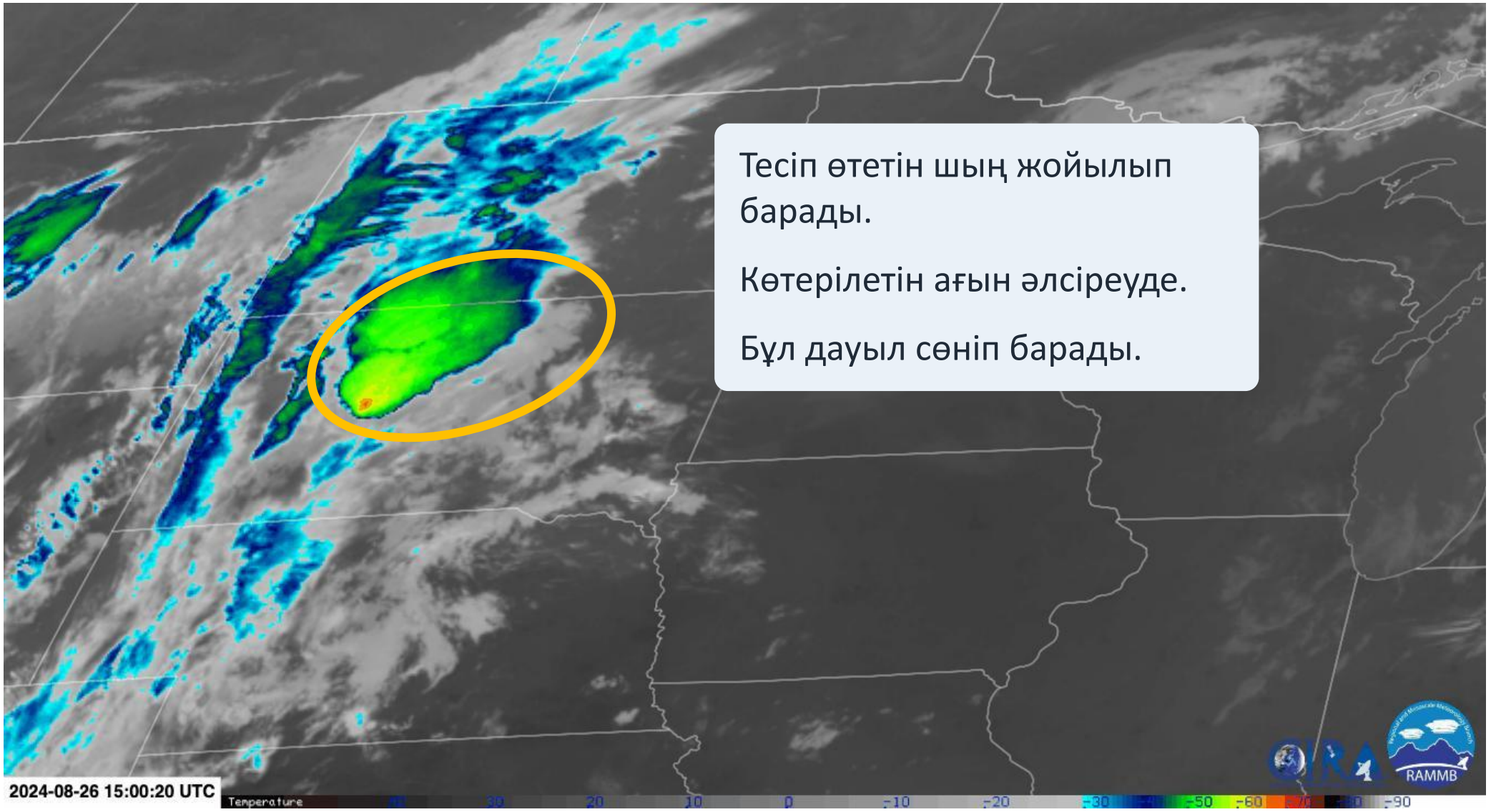
Nat. Color: 1500-1600 (10:00-11:00)



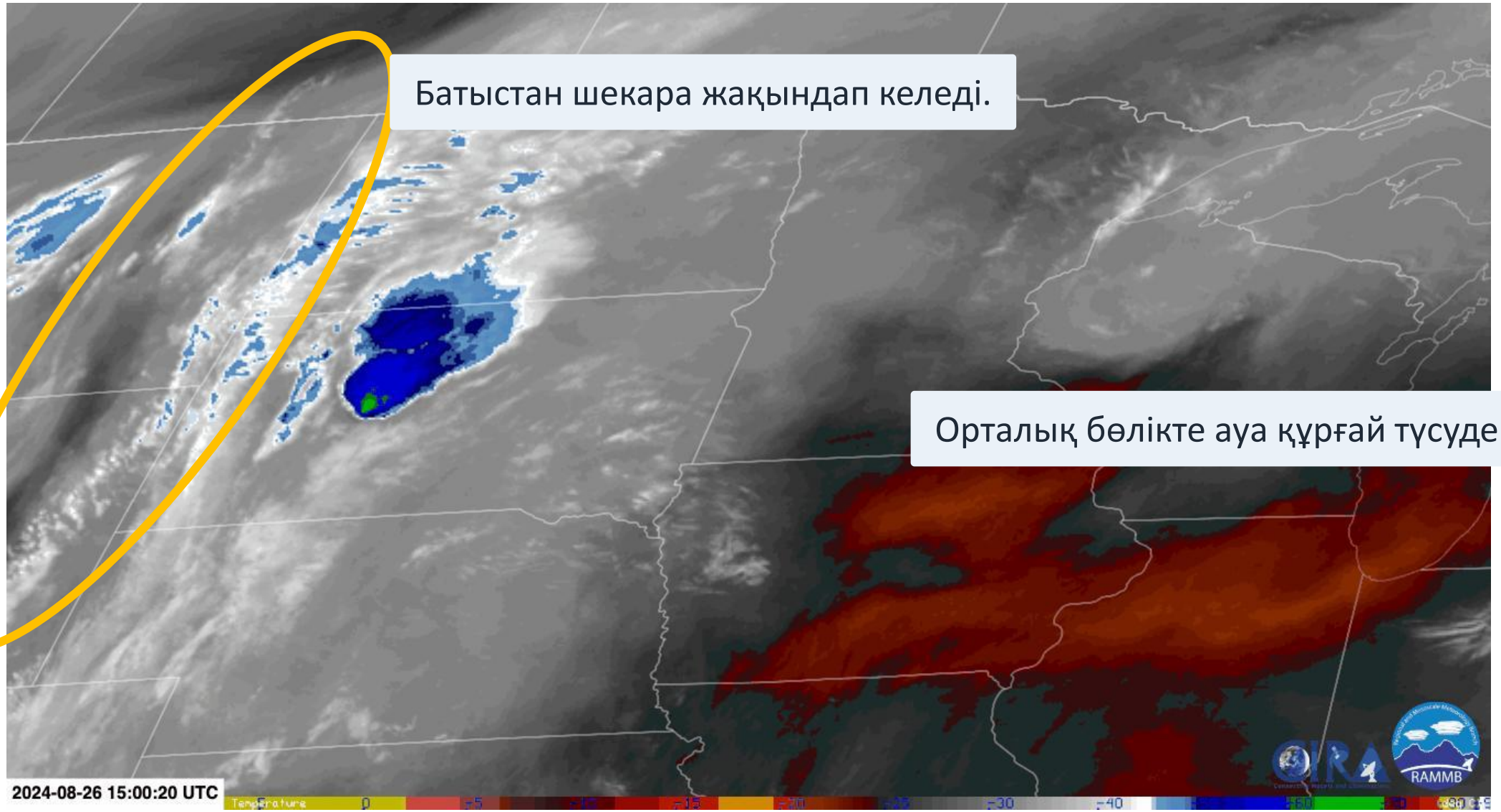
Nat. Color: 1500-1600 (10:00-11:00)



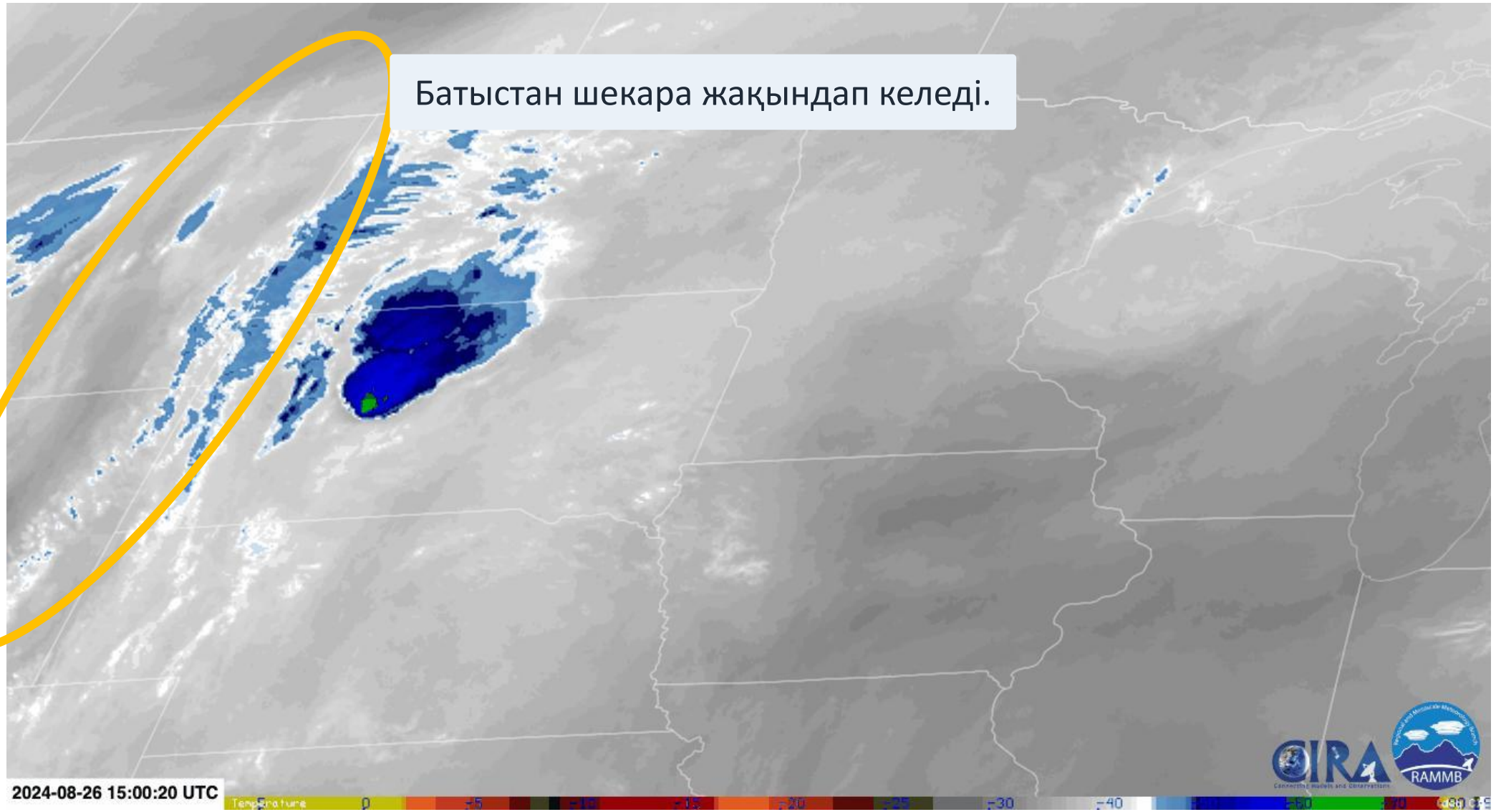
IR Window: 1500-1600 (10:00-11:00)



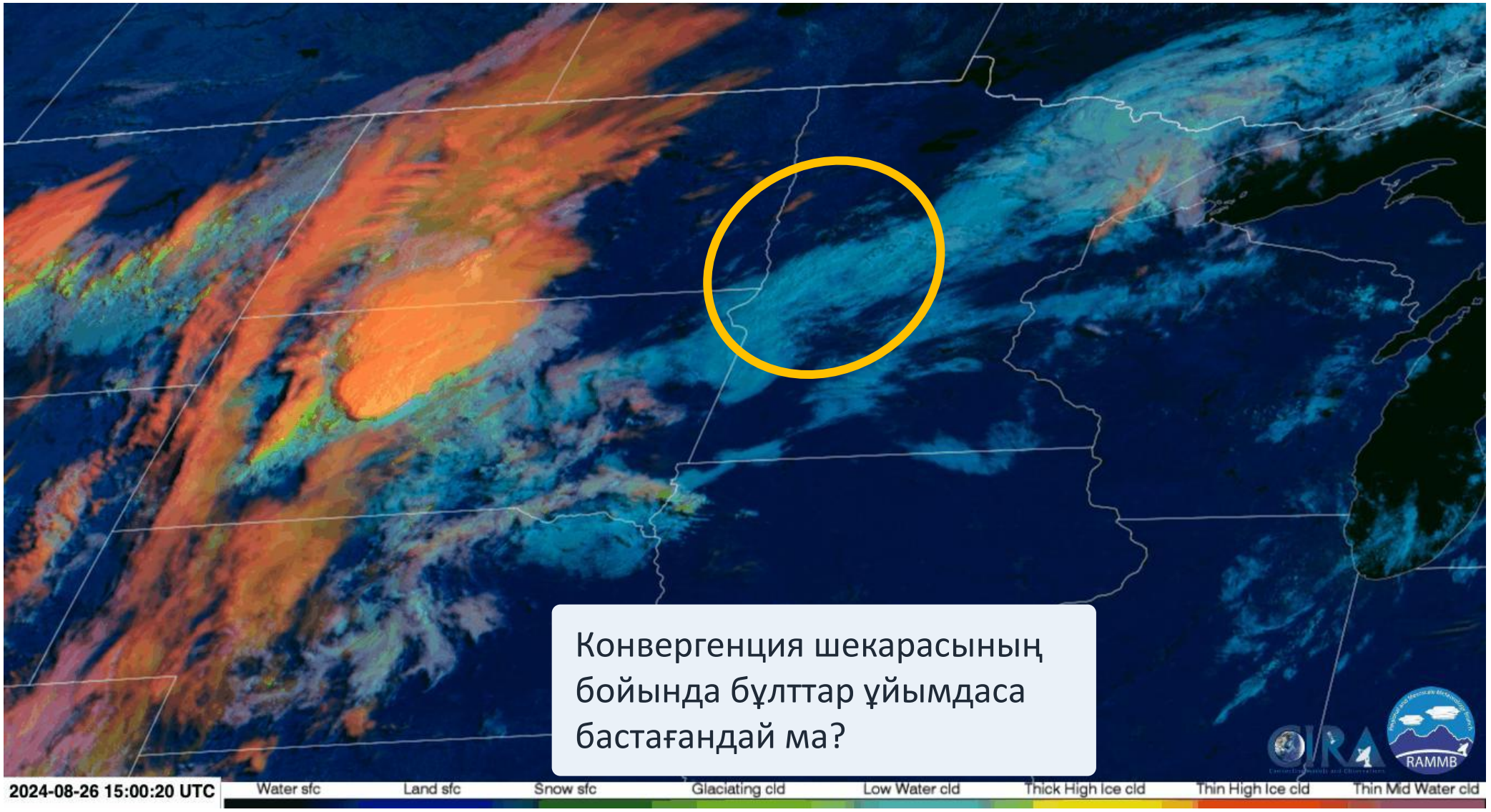
Midlevel H_2O: 1500-1600 (10:00-11:00)



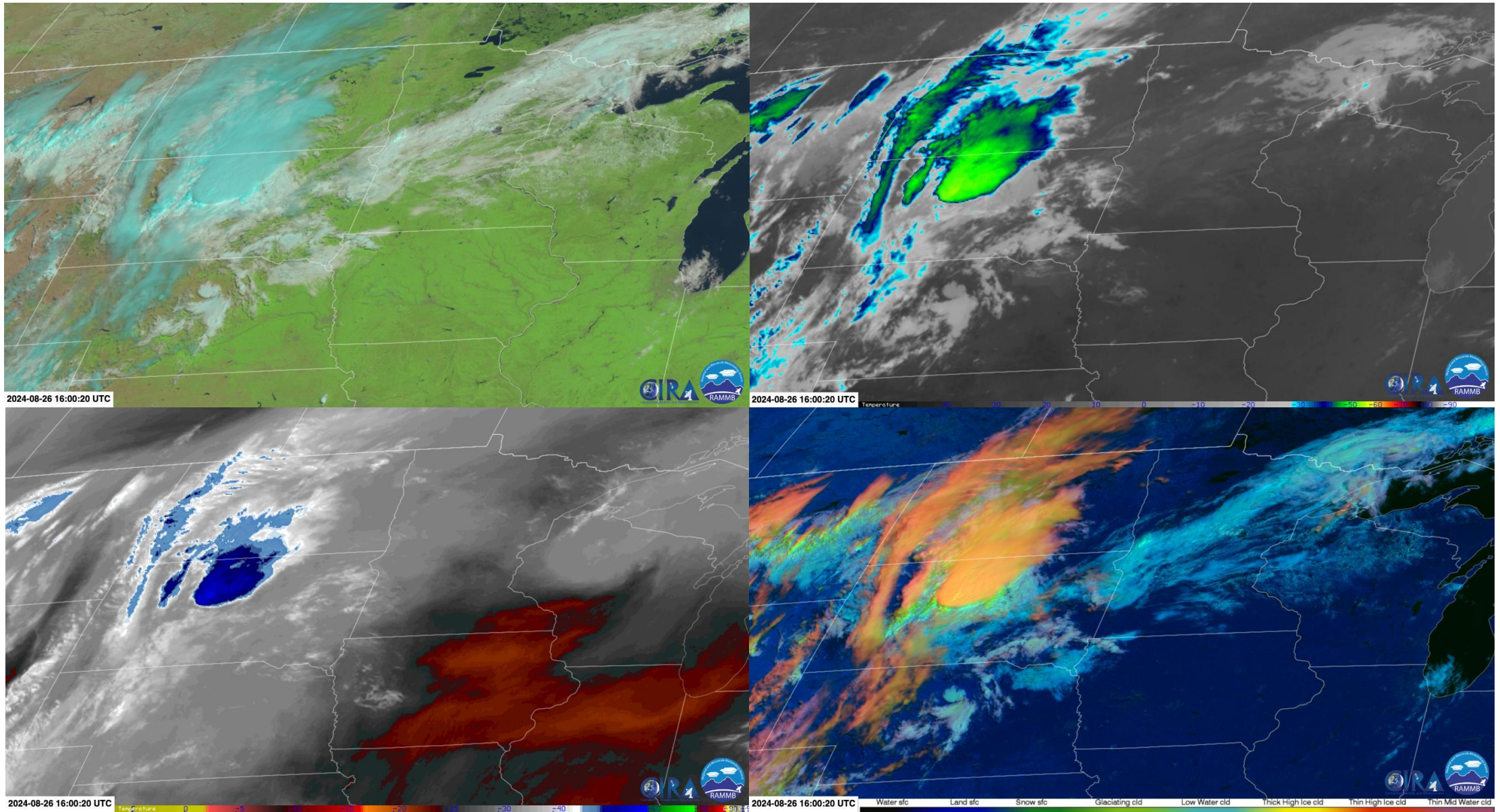
Midlevel H_2O: 1500-1600 (10:00-11:00)



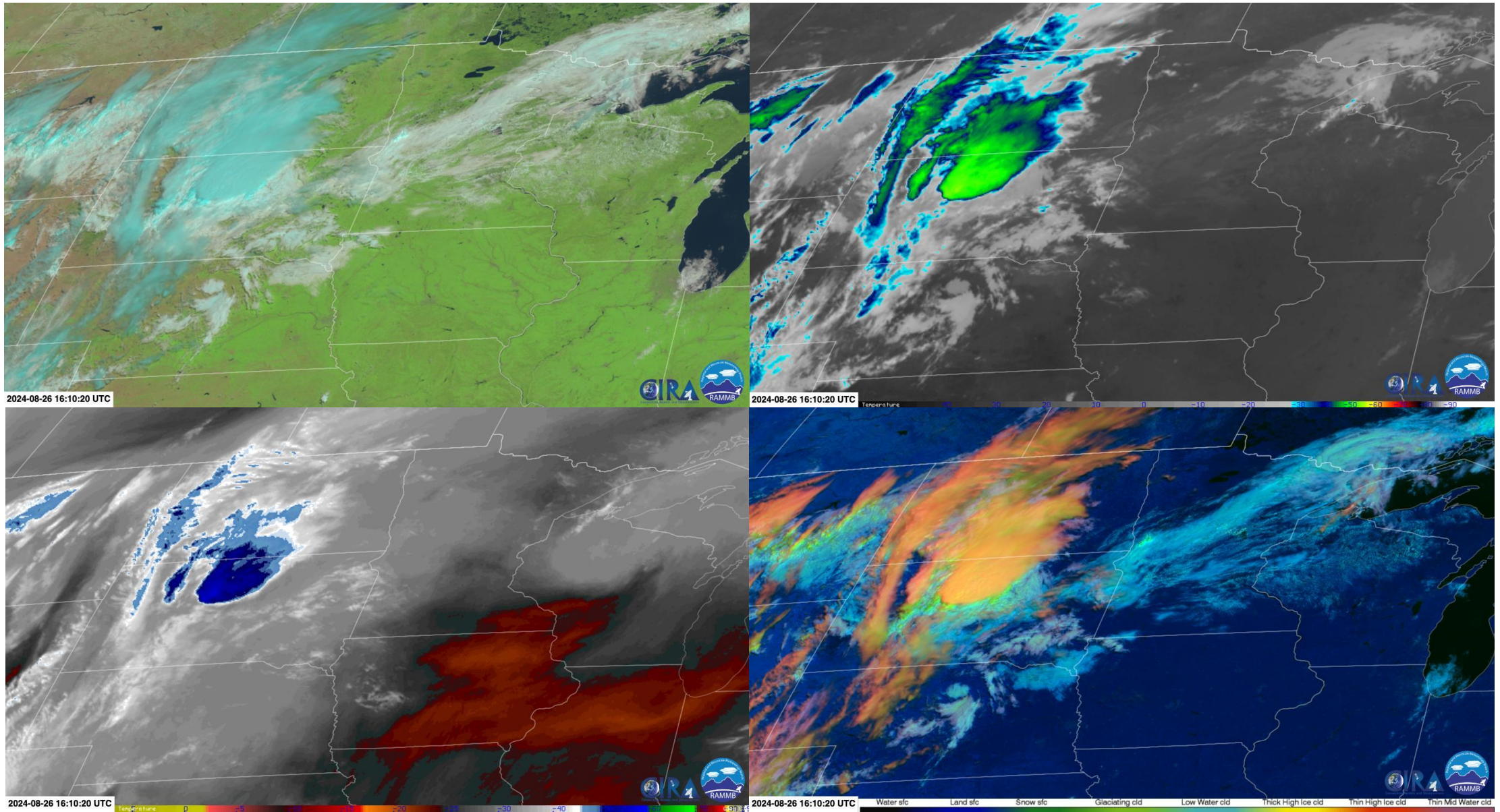
Day Phase: 1500-1600 (10:00-11:00)



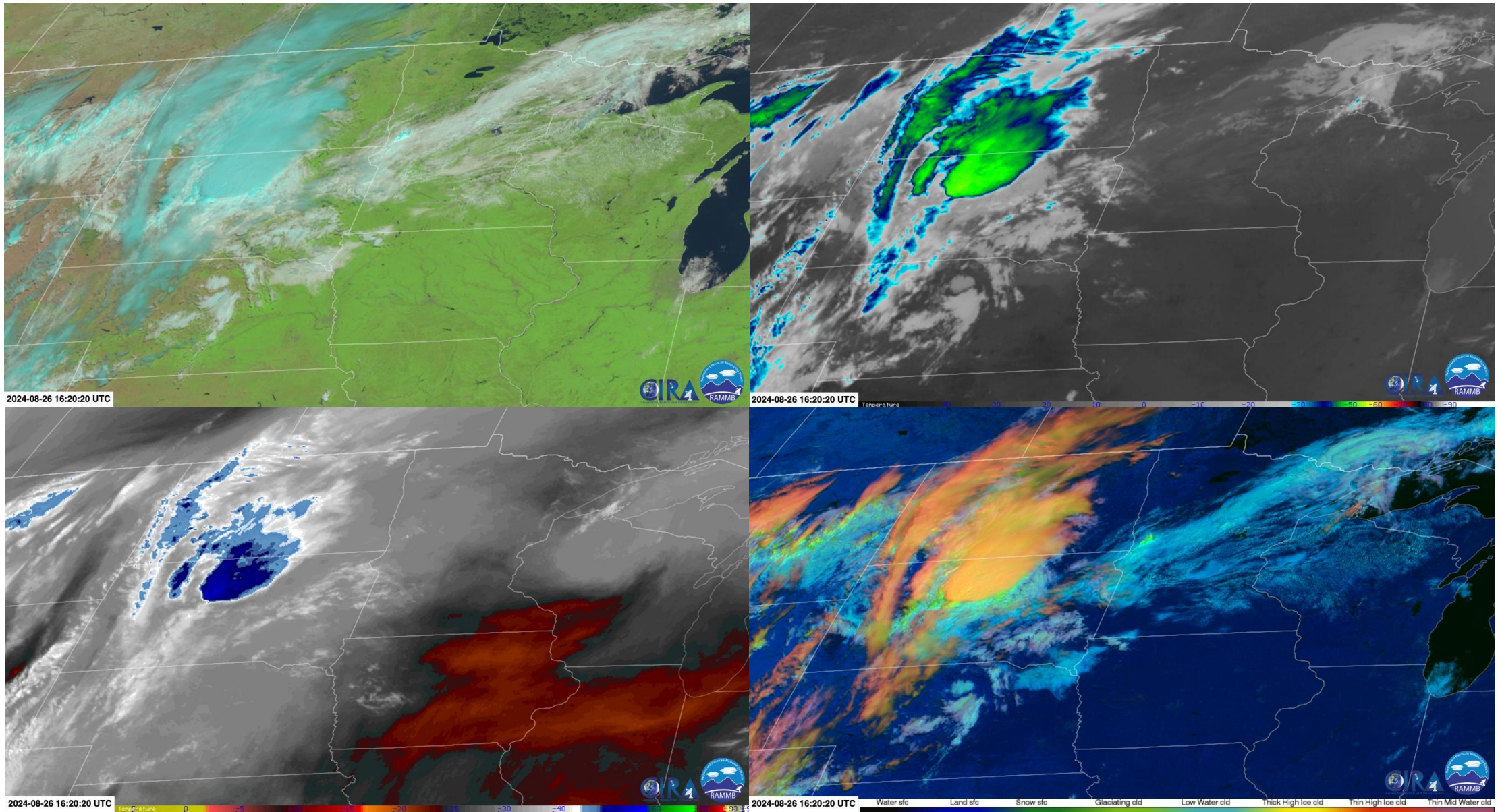
1600 UTC (жергілікті 11:00)



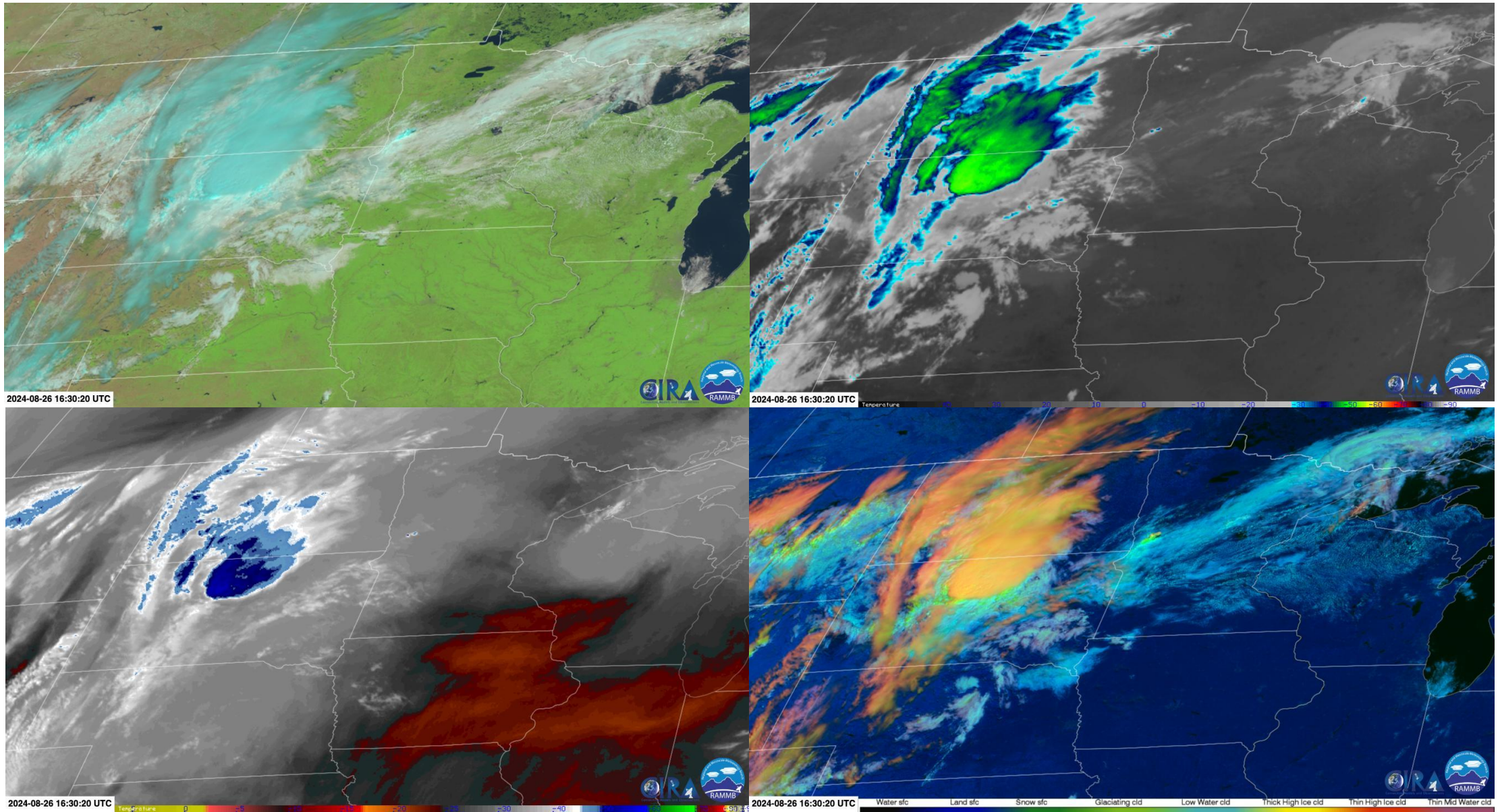
1610 UTC (жергілікті 11:10)



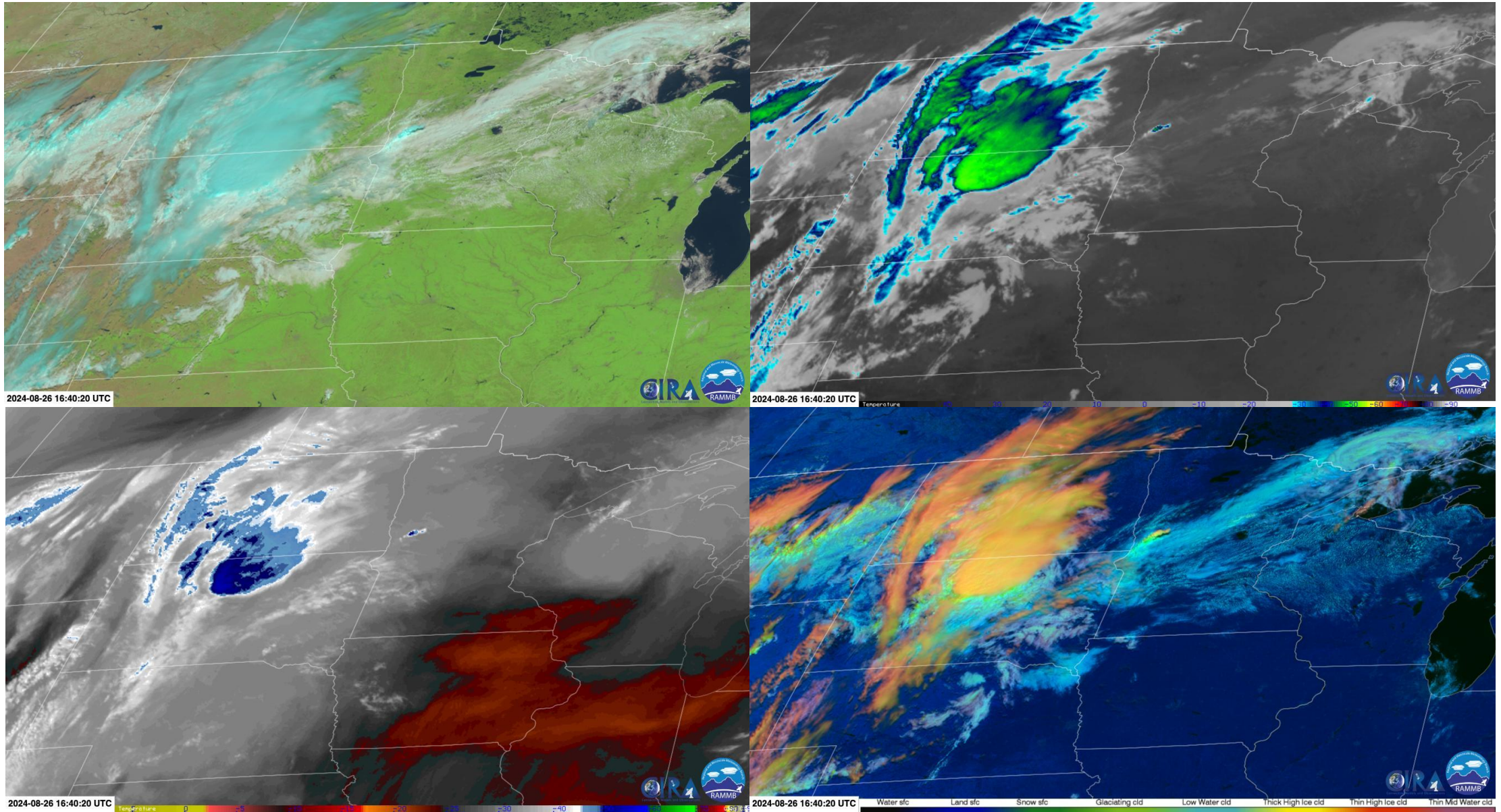
1620 UTC (жергілікті 11:20)



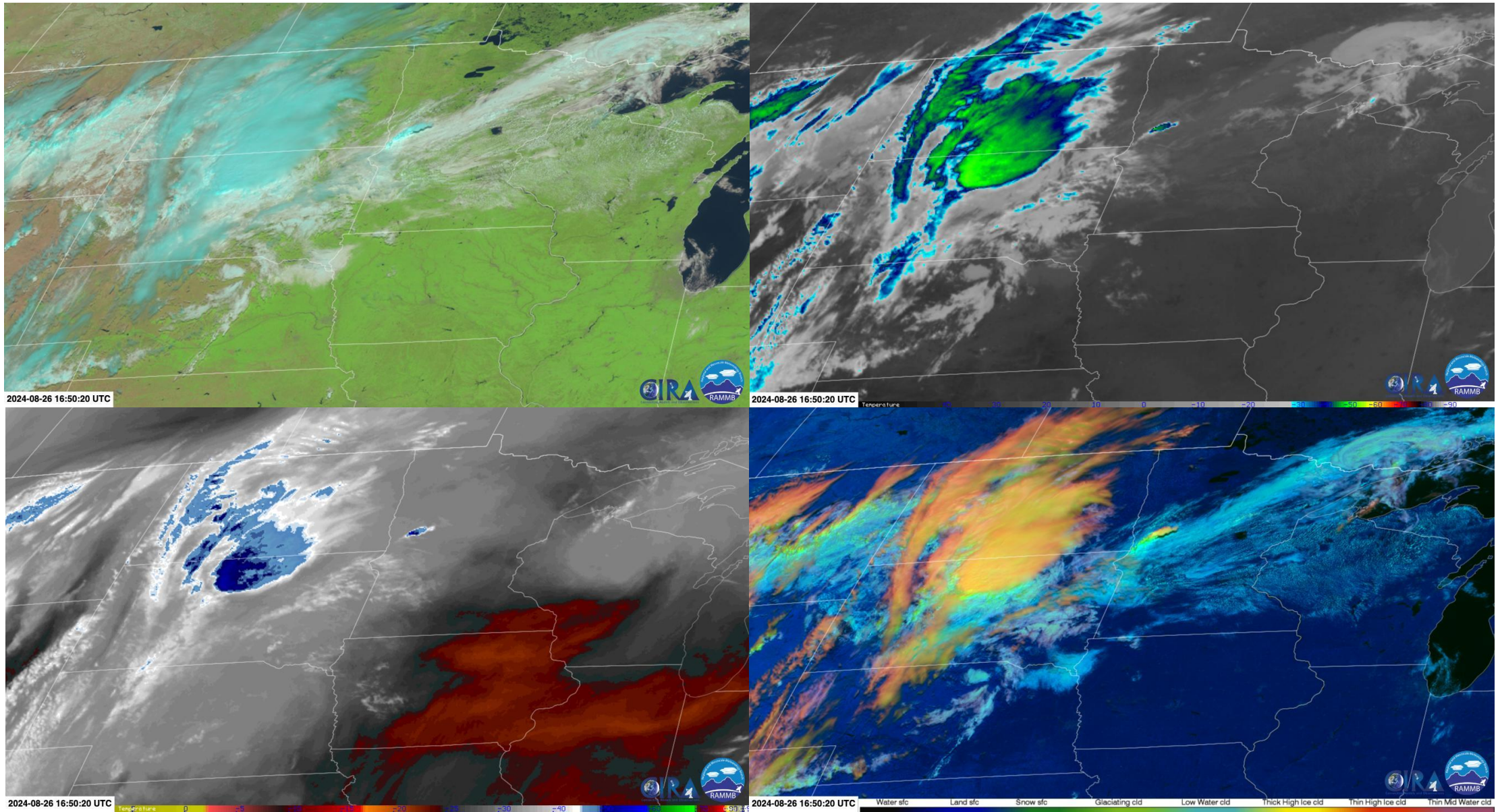
1630 UTC (жергілікті 11:30)



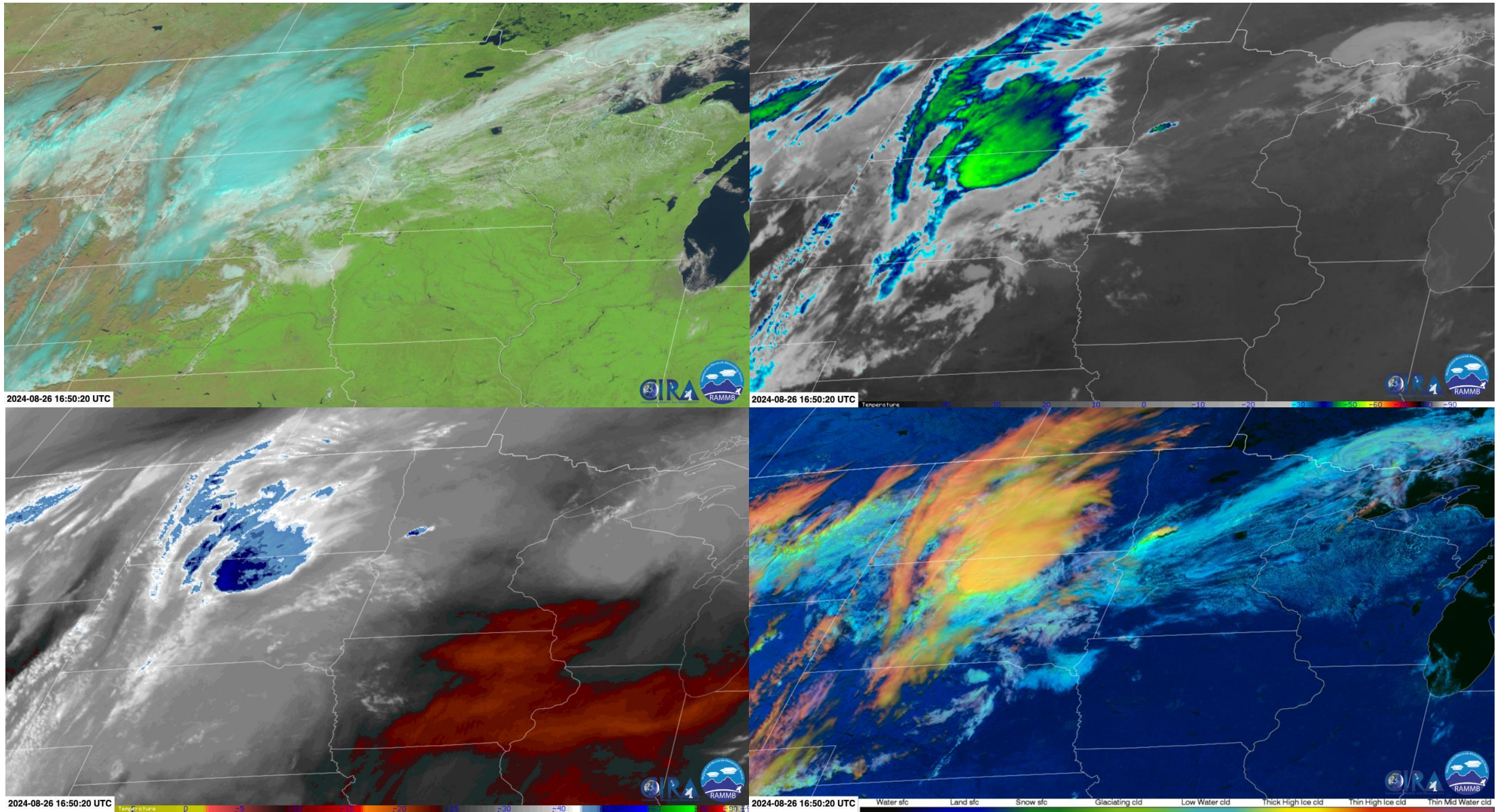
1640 UTC (жергілікті 11:40)



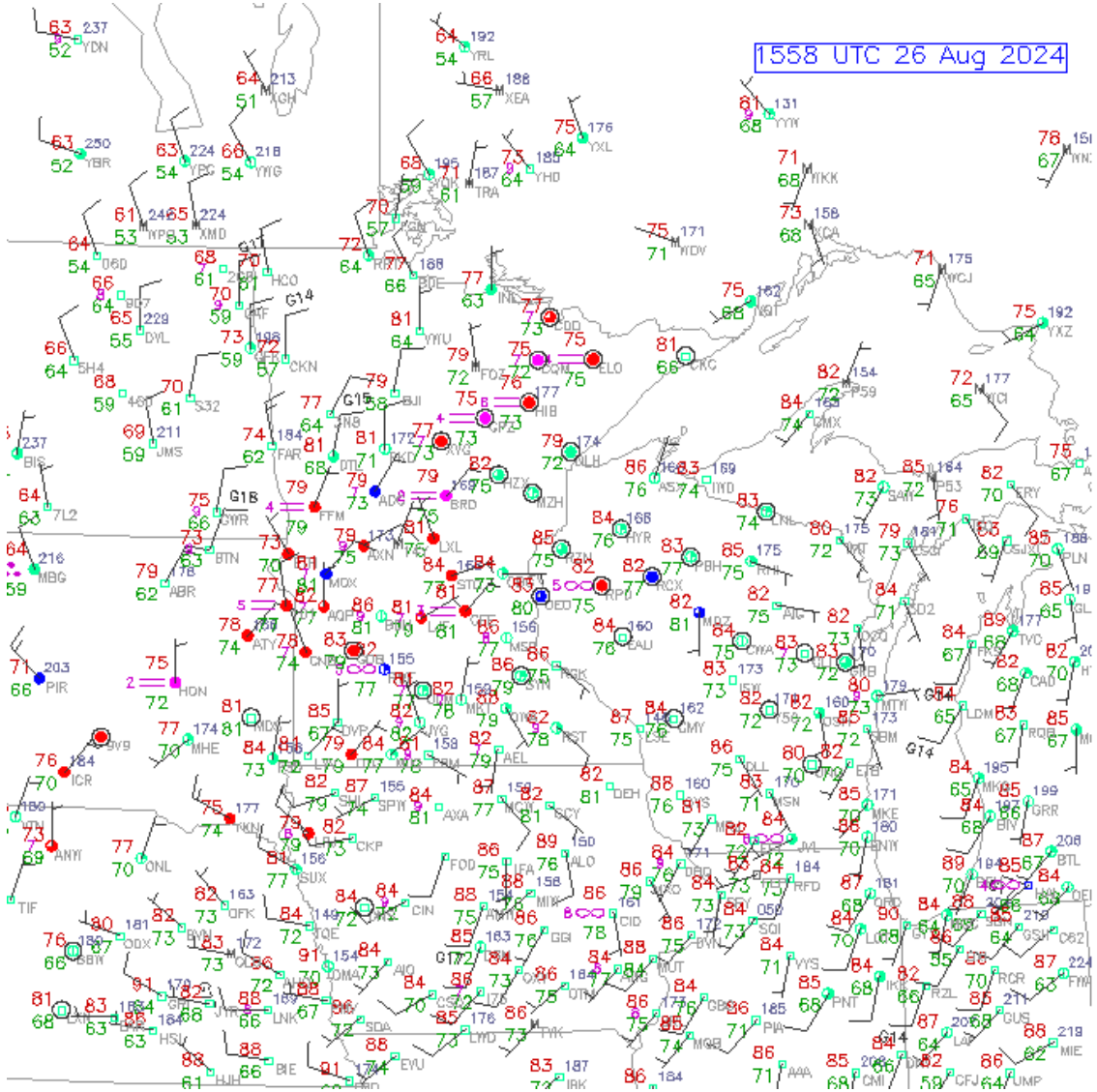
1650 UTC (жергілікті 11:50)



1700 UTC (жергілікті 12:00)



Жер беті: 1600 UTC (жергілікті 11:00)



°F	°C
60	15.5
65	18.3
70	21.1
75	23.9
80	26.7
85	29.4
90	32.2
95	35.0

Аспанның ашылуы, тұманның сейілуі және күндізгі қызу температураның көтерілуіне ықпал етеді.

2 сағатта +5 °C

Конвергенция шекарасы қалыптасып келеді.

Жағдайды бағалайық

Барлық жағдай бір арнаға тоғысып жатқан сияқты.

- Ұйымдасқан конвективтік бұлттар
- Бұлт фазасының сұйықтан мұзға тез ауысуы
  - Ауа тігінен жылдам көтерілуде
- Ұяшық тежеуші қабатты (сар) бұзып өткен болуы мүмкін және тігінен өсе береді.

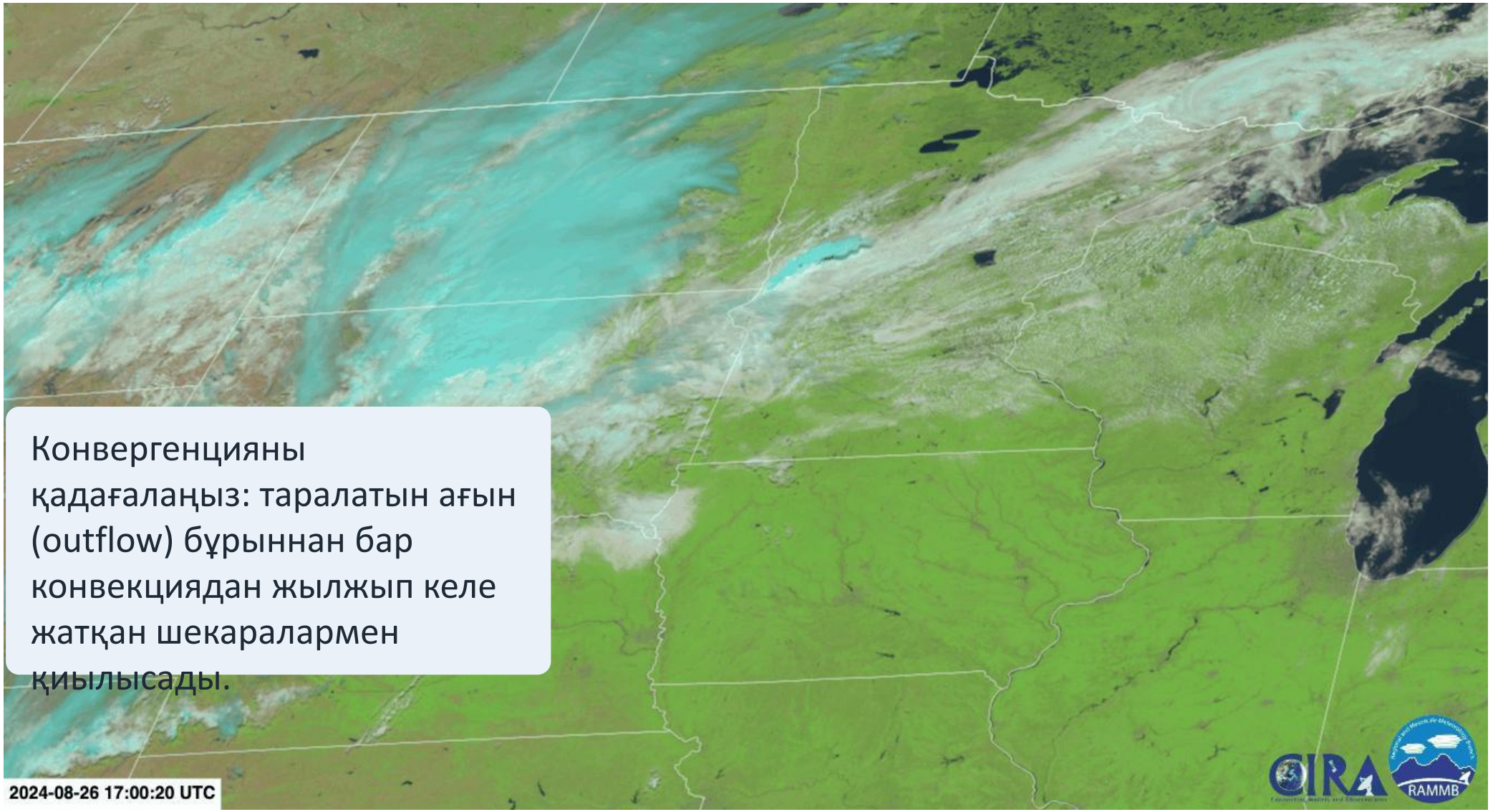
Қандай дауыл қалыптасады?

- Жер бетіндегі мол ылғал – жасырын жылудың мол қоры
- Әртүрлі биіктіктегі бұлттардың қозғалысынан желдің ығысуы байқалды

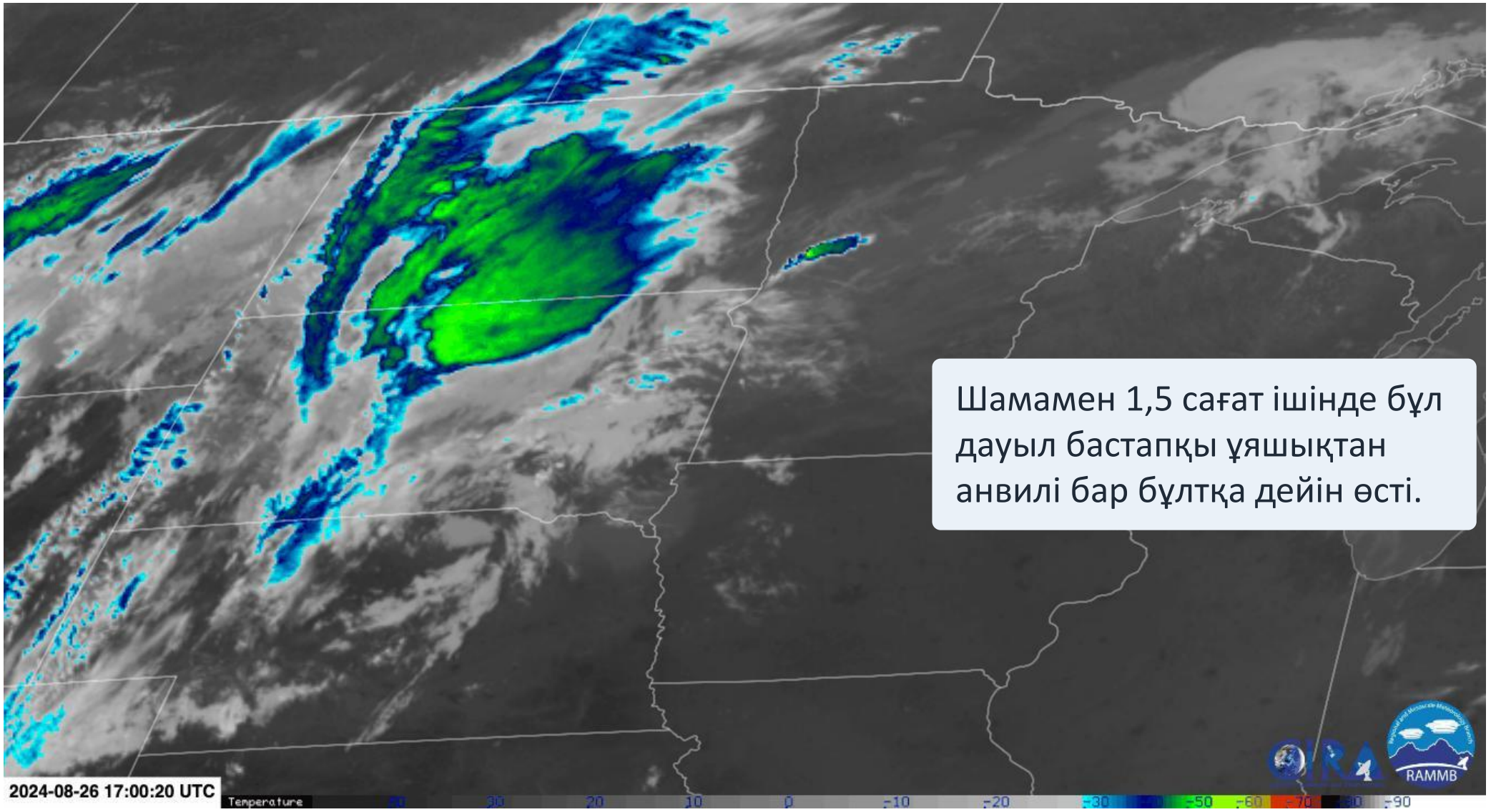
Nat. Color: 1700-1800 (12:00-13:00)



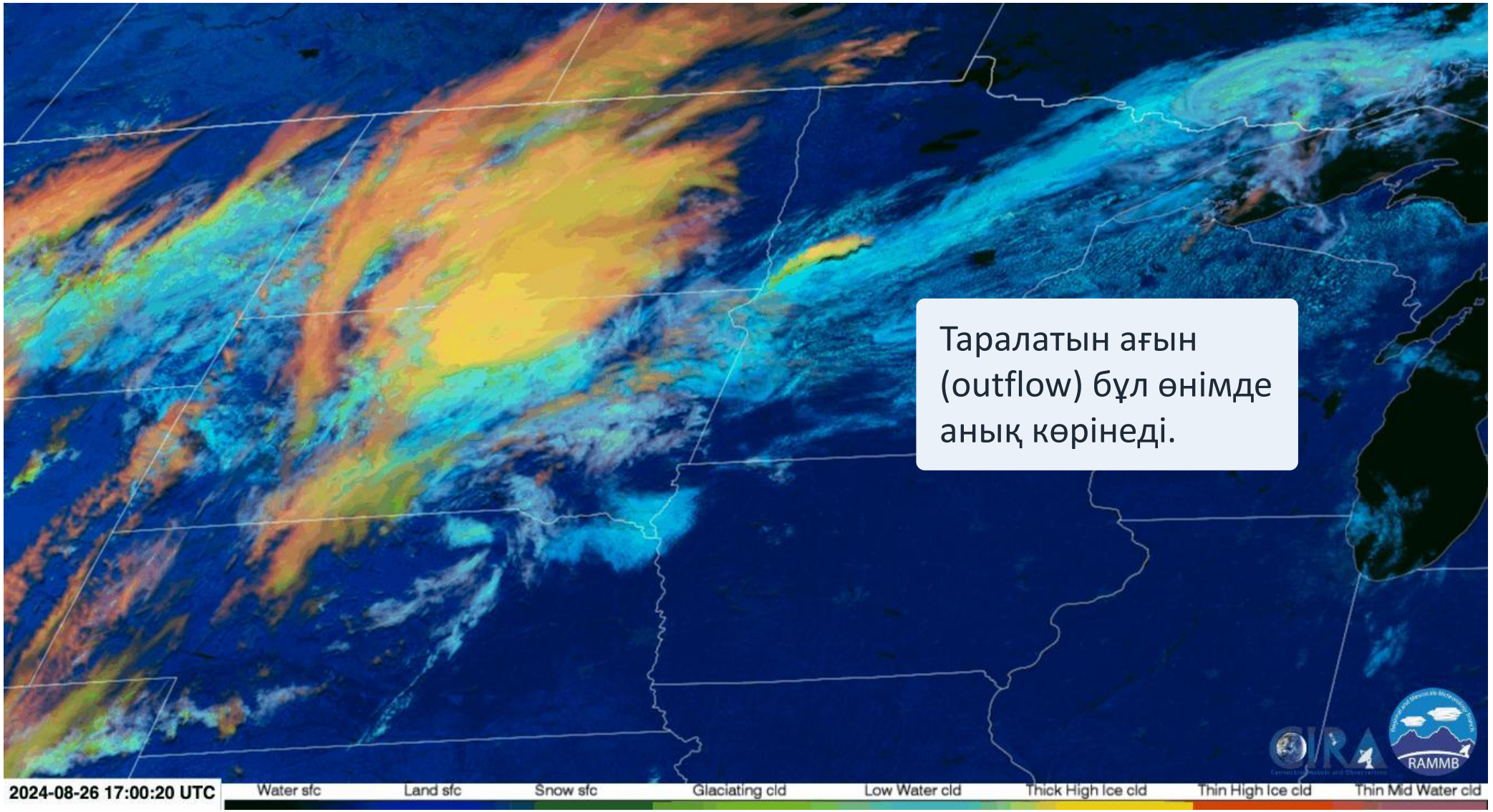
Nat. Color: 1700-1800 (12:00-13:00)



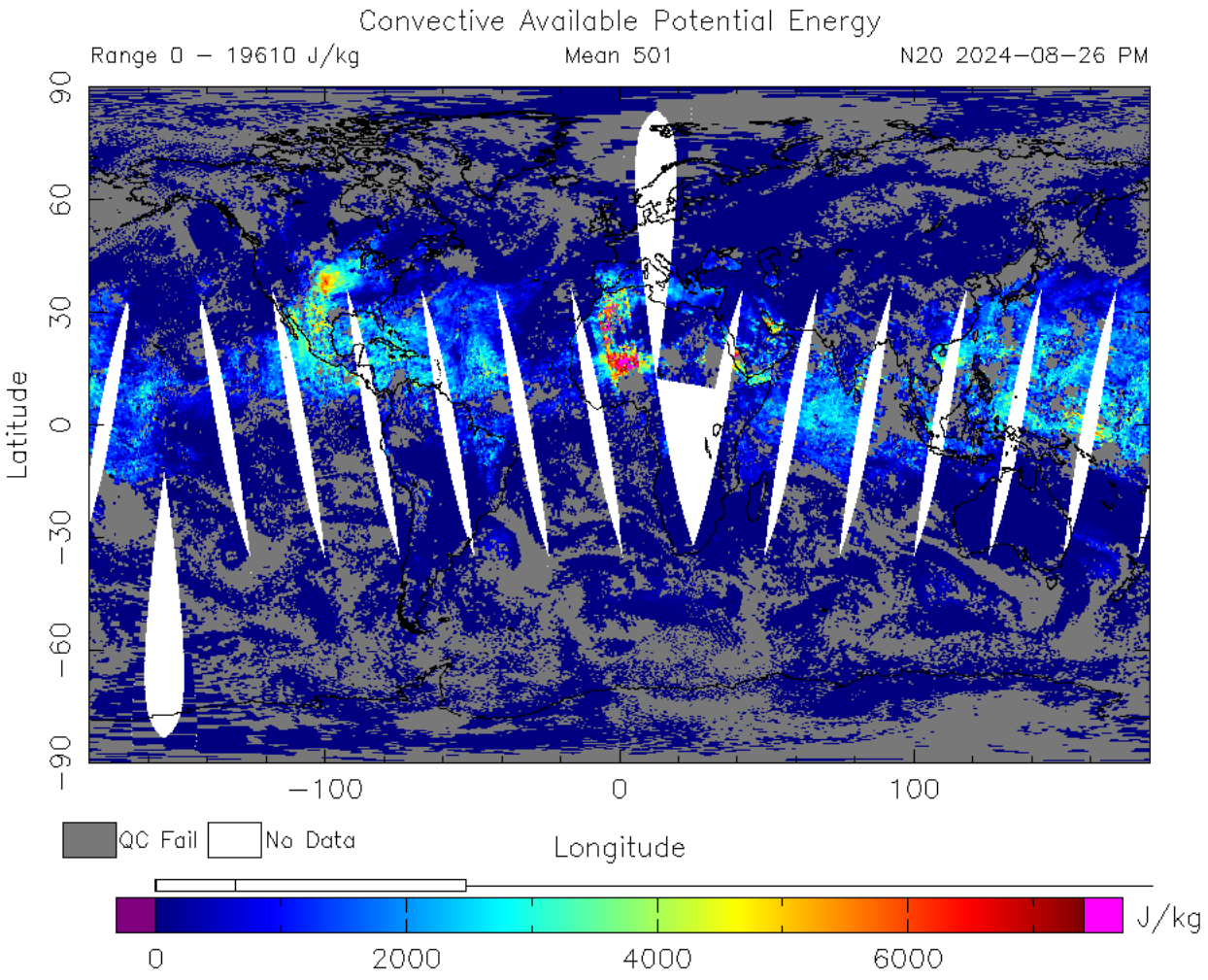
IR Window: 1700-1800 (12:00-13:00)

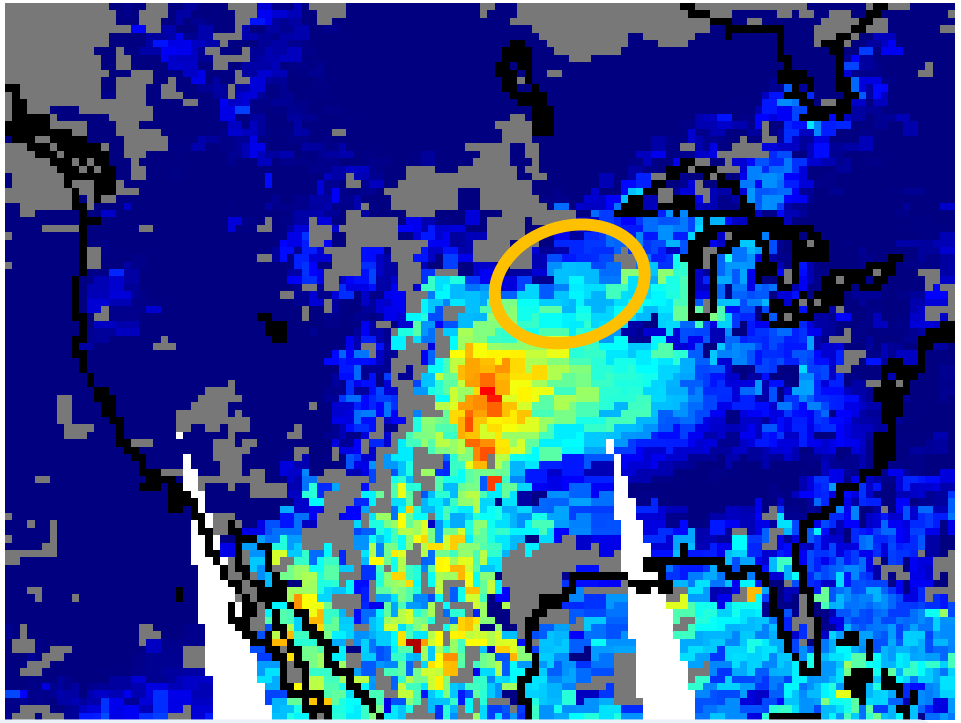


Day Phase: 1700-1800 (12:00-13:00)



LEO жерсерігінен алынған CAPE





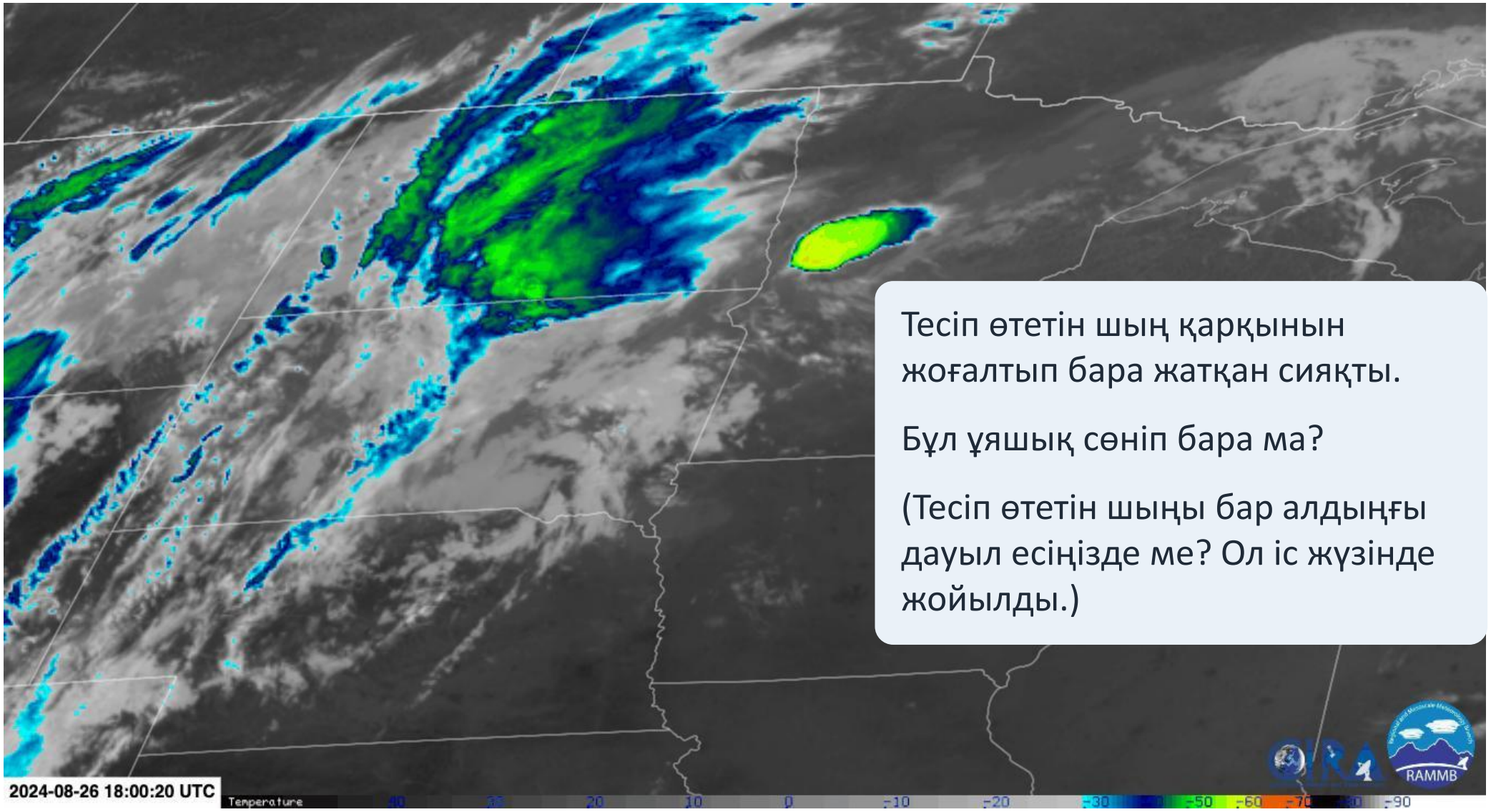
LEO жерсерігі шамамен 13:30-да ұшып өтті.

CAPE мәні шамамен 3000 Дж/кг. Атмосфера өте тұрақсыз.

Nat. Color: 1800-2000 (13:00-15:00)



IR Window: 1800-2000 (13:00-15:00)

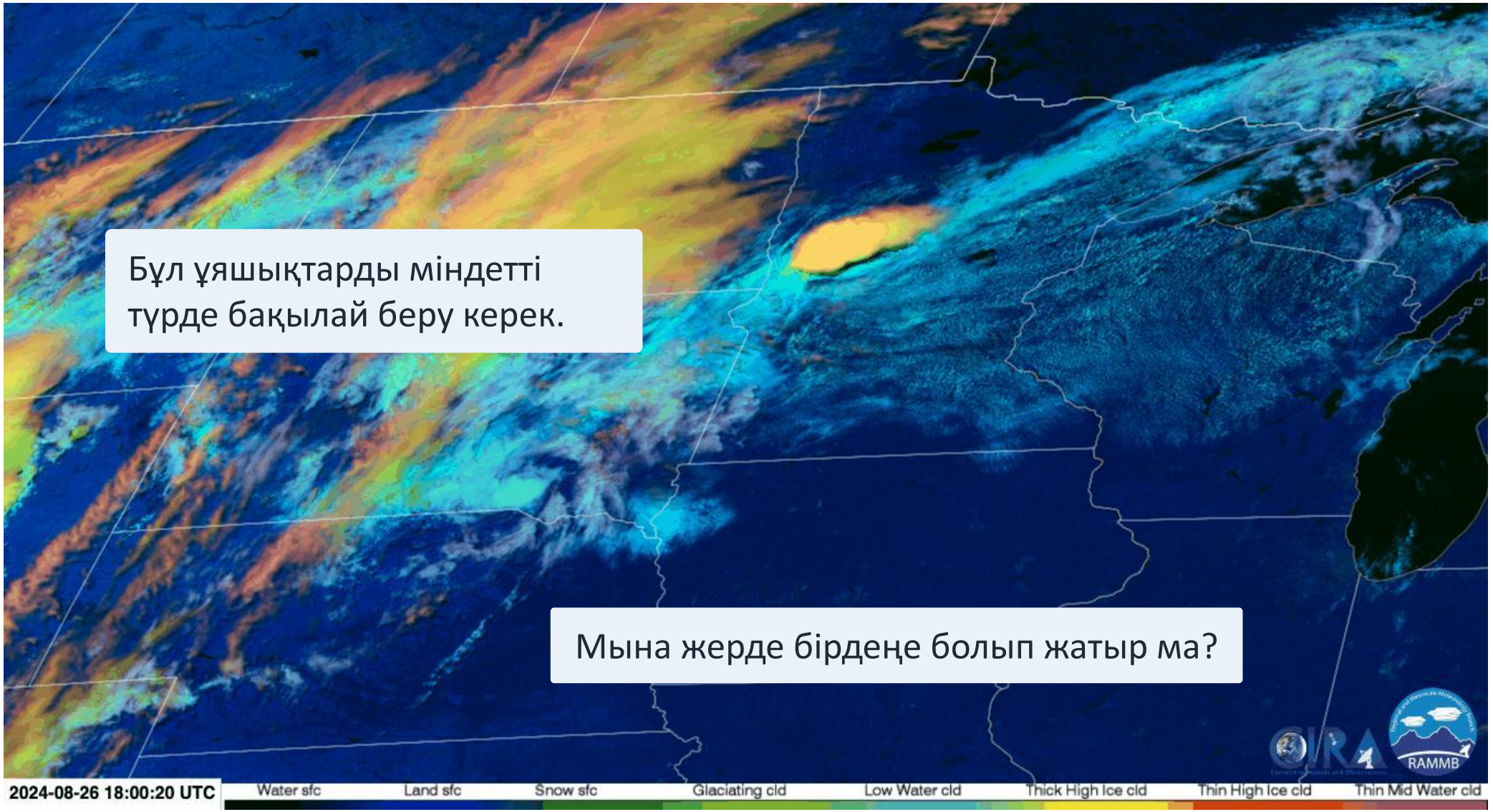


Тесіп өтетін шың қарқынын жоғалтып бара жатқан сияқты.

Бұл ұяшық сөніп бара ма?

(Тесіп өтетін шыңы бар алдыңғы дауыл есіңізде ме? Ол іс жүзінде жойылды.)

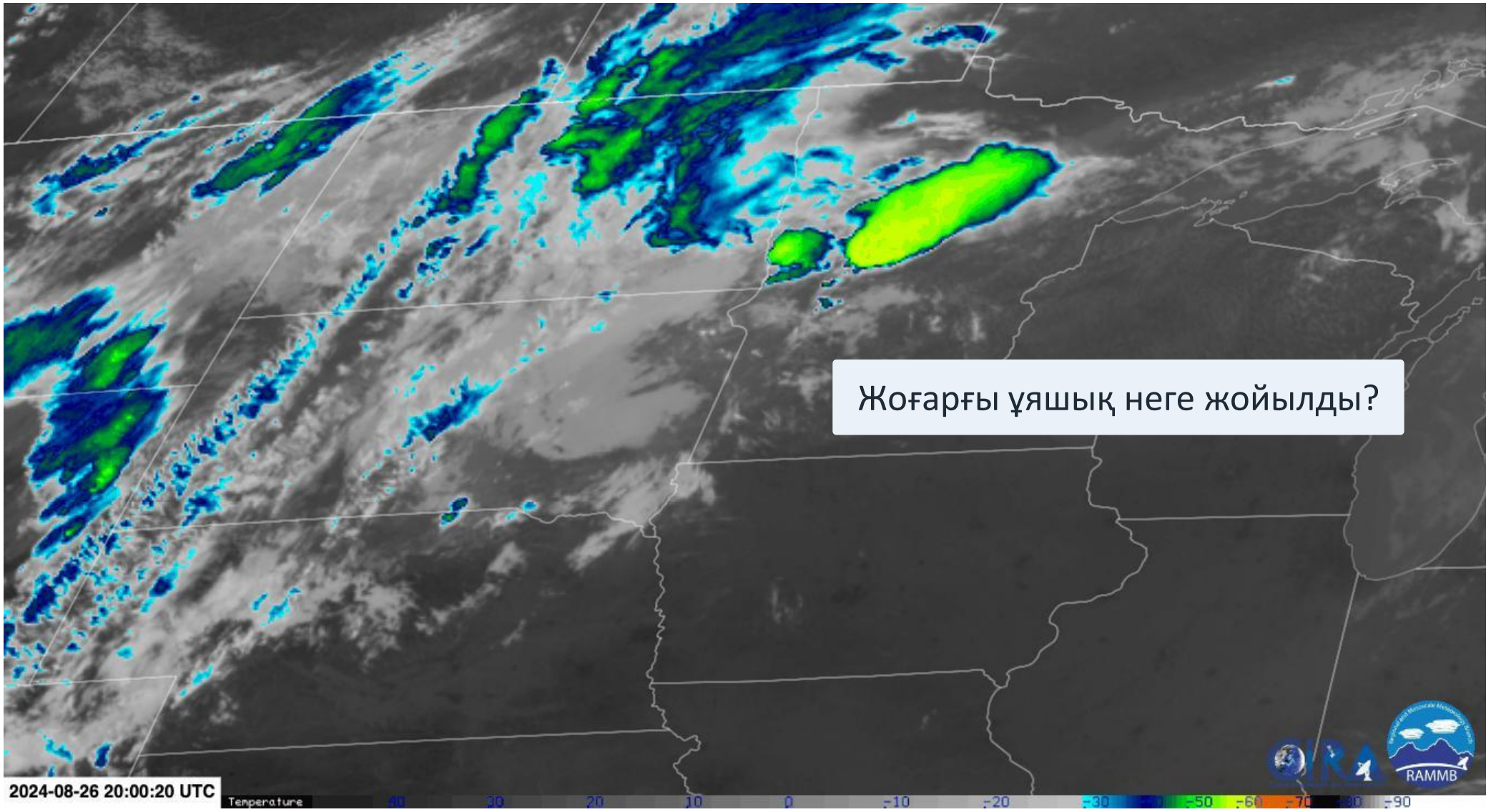
Phase: 1800-2000 (13:00-15:00)



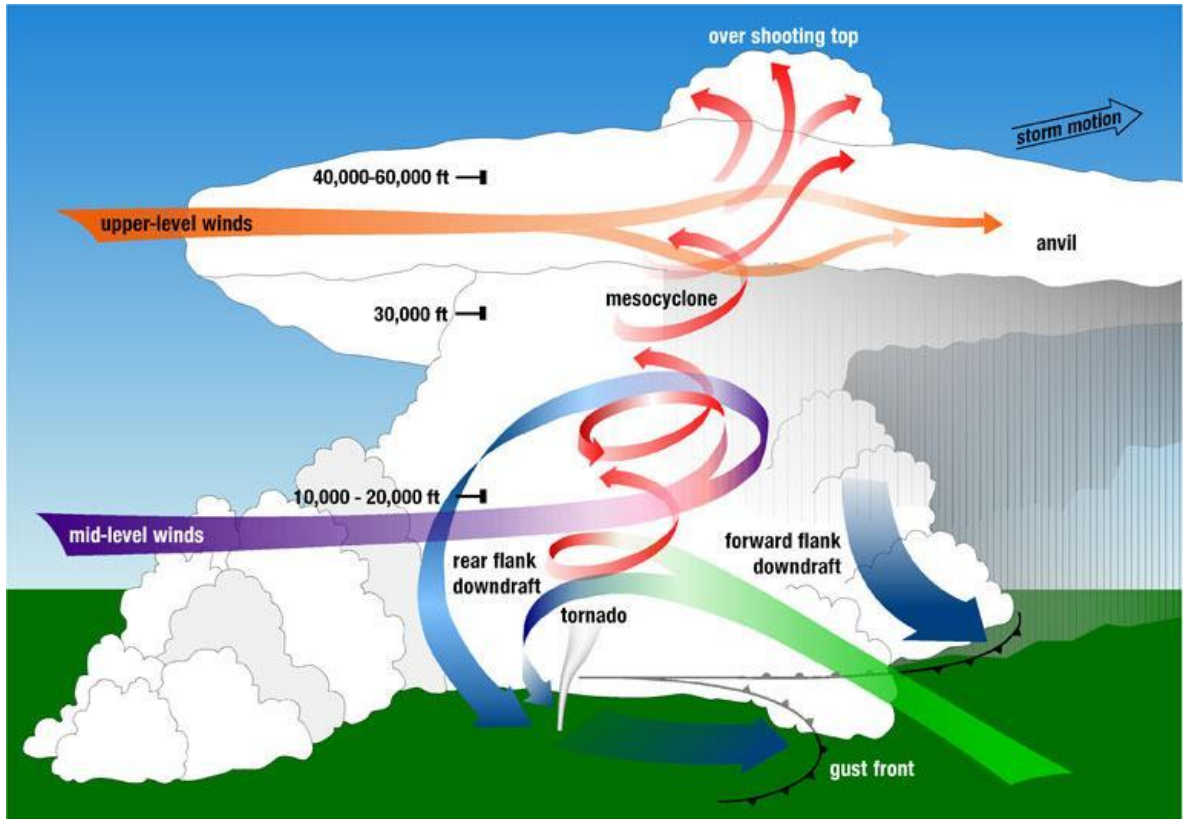
Nat. Color: 2000-2200 (15:00-17:00)



IR Window: 2000-2200 (15:00-17:00)



Суперұяшыққа кіретін ағын (Inflow)



Wikipedia

Кіретін ағын (жасыл көрсеткі) – дауылдың тіршілік көзі.

Дауыл өзі сіңіретін жылы, ылғалды ауаның жасырын жылуымен қоректенеді.

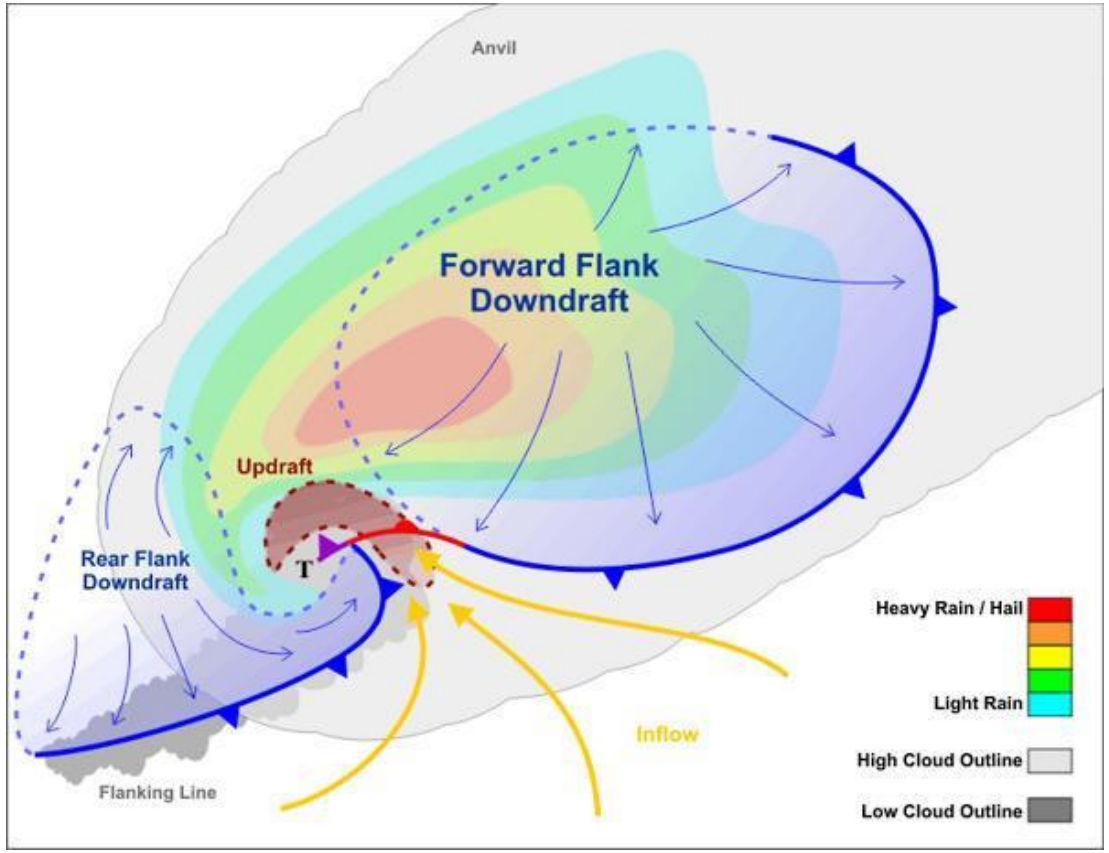
Осы энергия көзін үзсеңіз, дауыл сөнеді.

Суперұяшыққа кіретін ағын (Inflow)

Ескі дауылдың кіретін ағынында жаңа дауыл пайда болғанда, екі нәрсе орын алады:

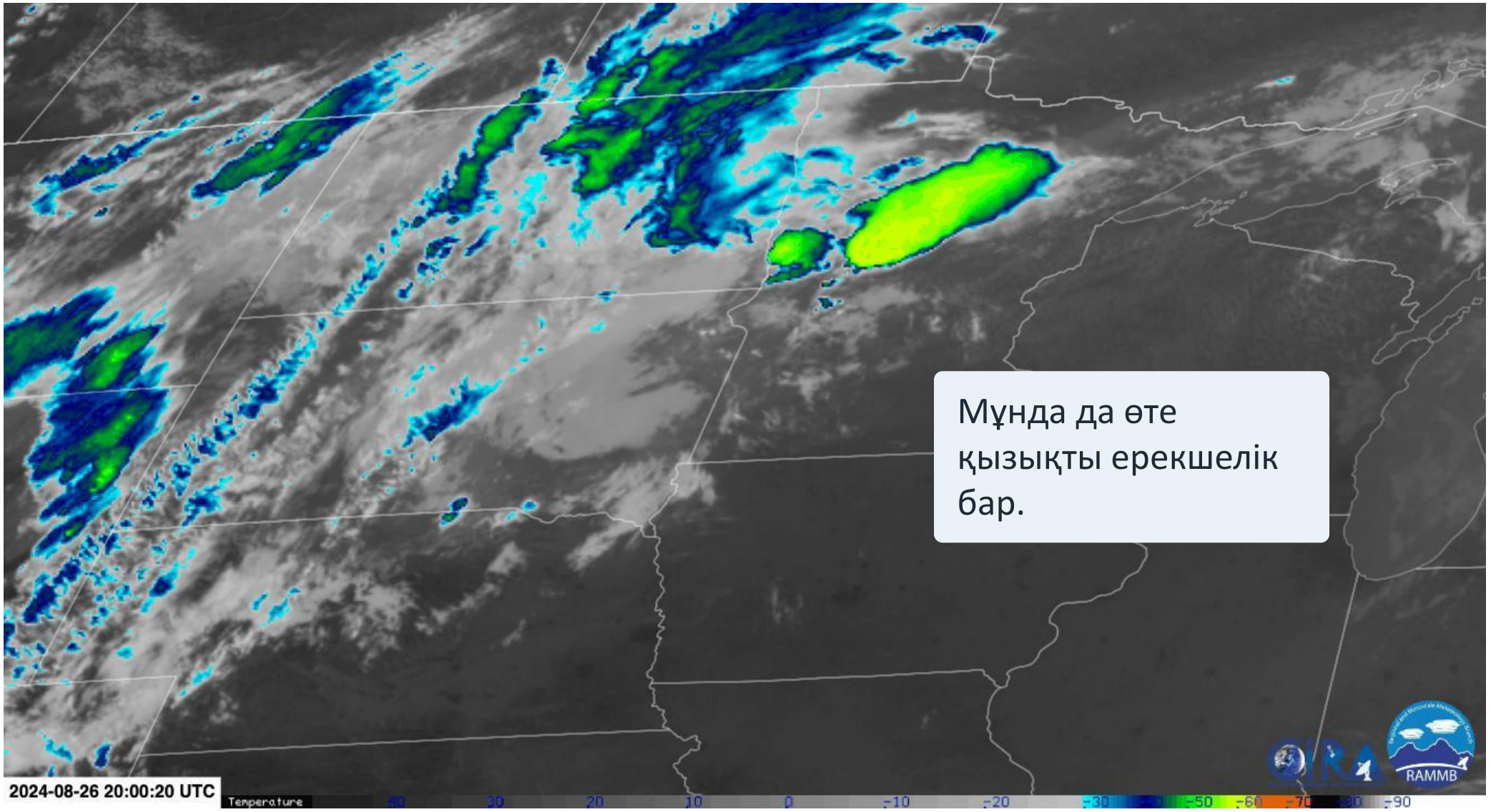
- Кіретін ағын енді жаңа дауылға бағытталады
- Жаңбырмен салқындаған төмендейтін ағындар таралатын ағын (outflow) түзіп, ол ескі дауылға құйылады

Кіретін ағын әлсіреп, энергиясы азаяды.



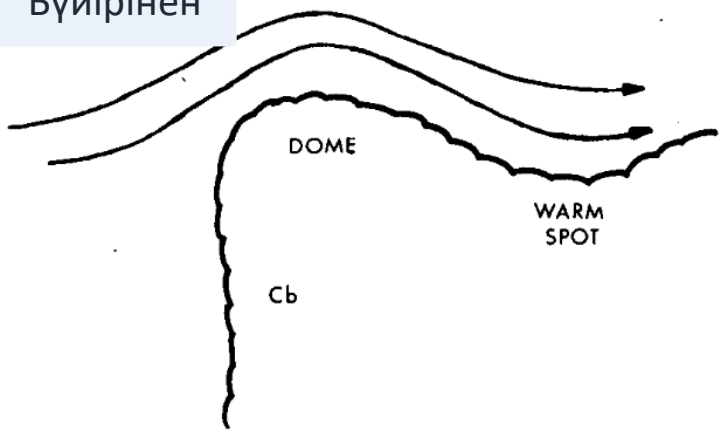
National Weather Service

IR Window: 2000-2200 (15:00-17:00)

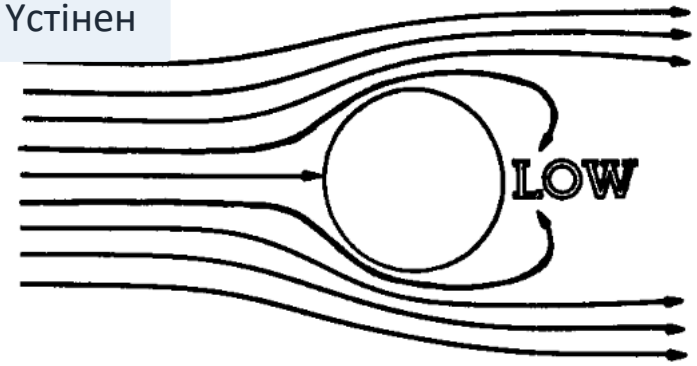


Enhanced V құрылымы

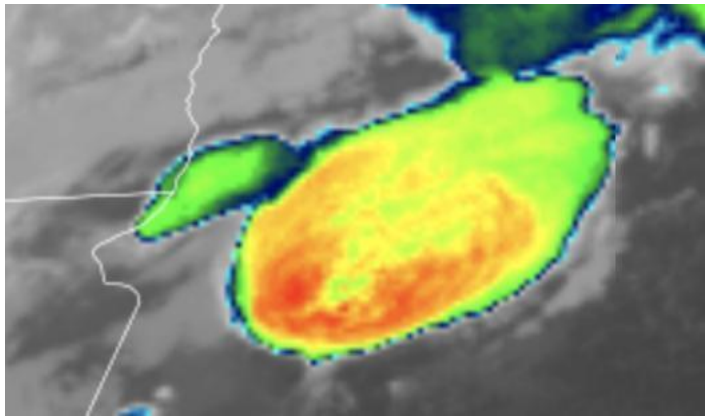
Бүйірінен

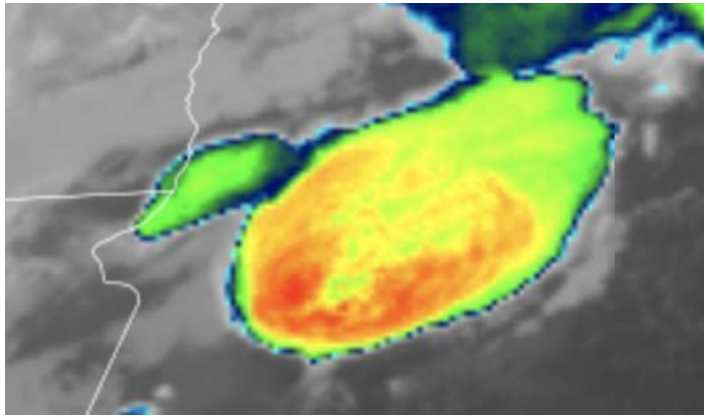


Үстінен



McCann, 1983





Enhanced V құрылымдары стратосфералық ауаның тесіп өтетін шыңды айналып ағуынан пайда болады.

Ауа көтерілетін ағынмен жоғары итеріліп, кейін төмен түседі де, адиабаталық түрде жылынады.

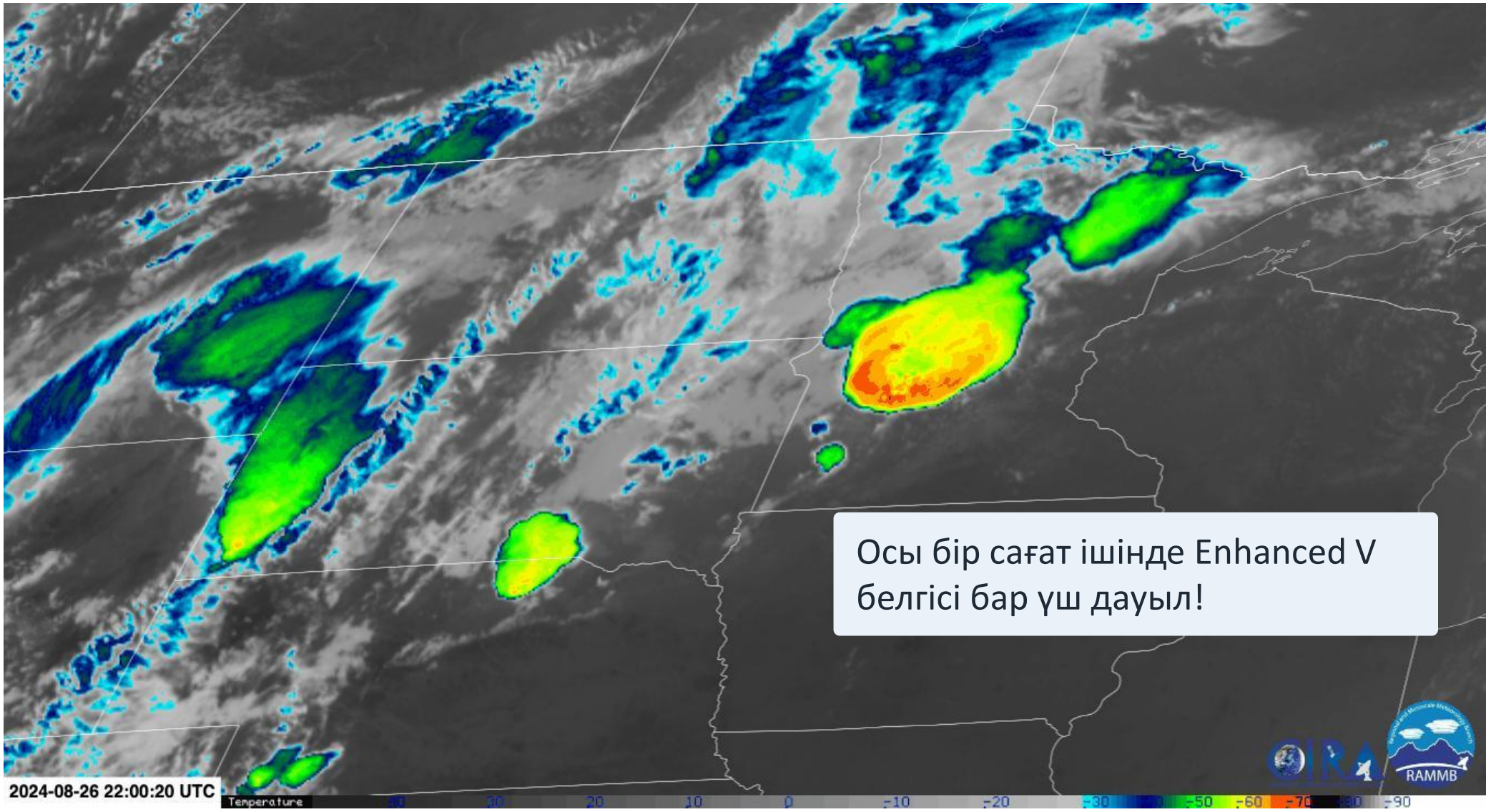
Соның нәтижесінде найзағайлы бұлттың анвилінде V тәрізді жылы дақ пайда болады.

Бұл – өте күшті көтерілетін ағын мен қауіпті дауылдың жақсы көрсеткіші.

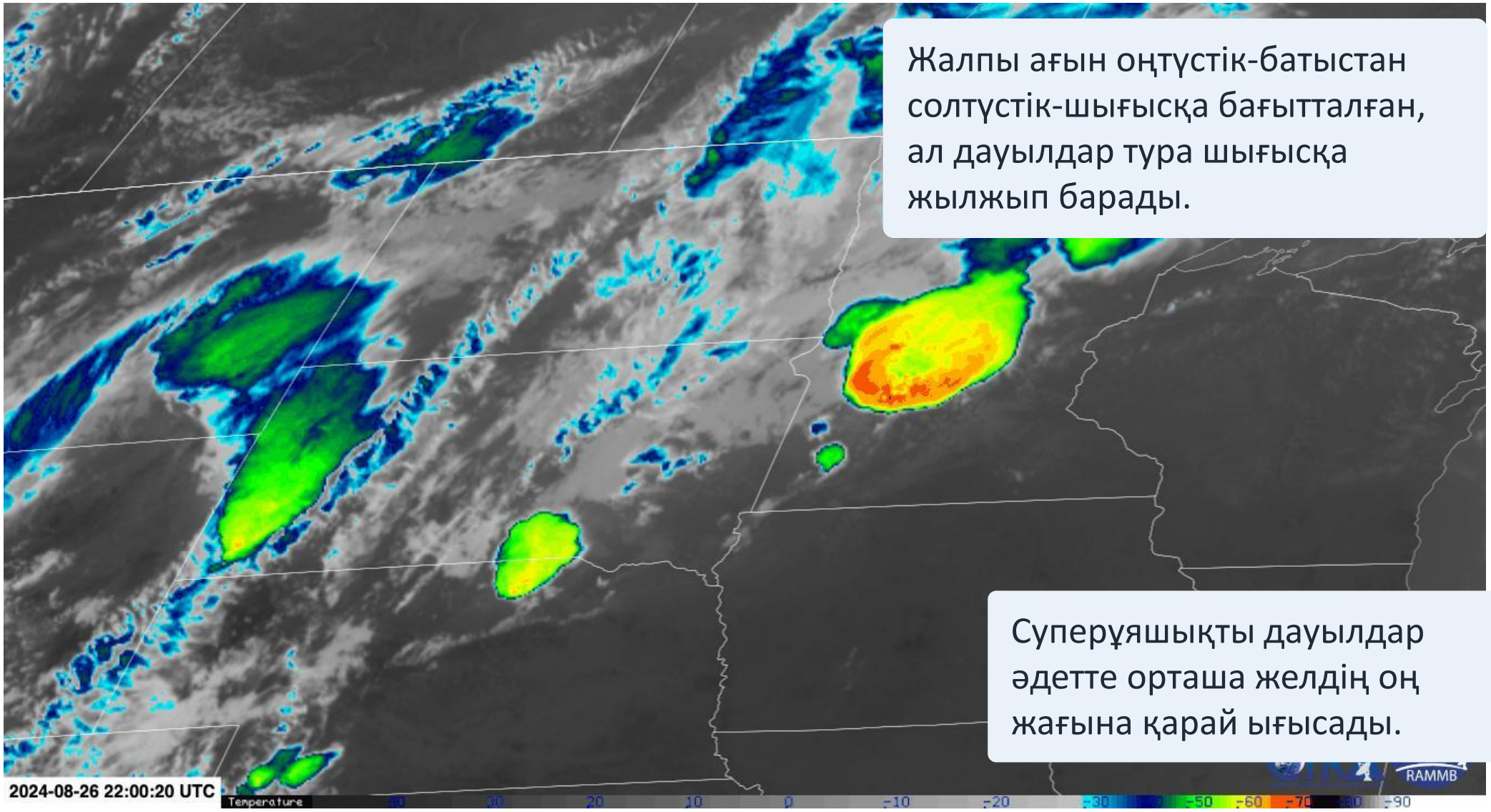
Nat. Color: 2200-0000 (17:00-19:00)



Nat. Color: 2200-0000 (17:00-19:00)



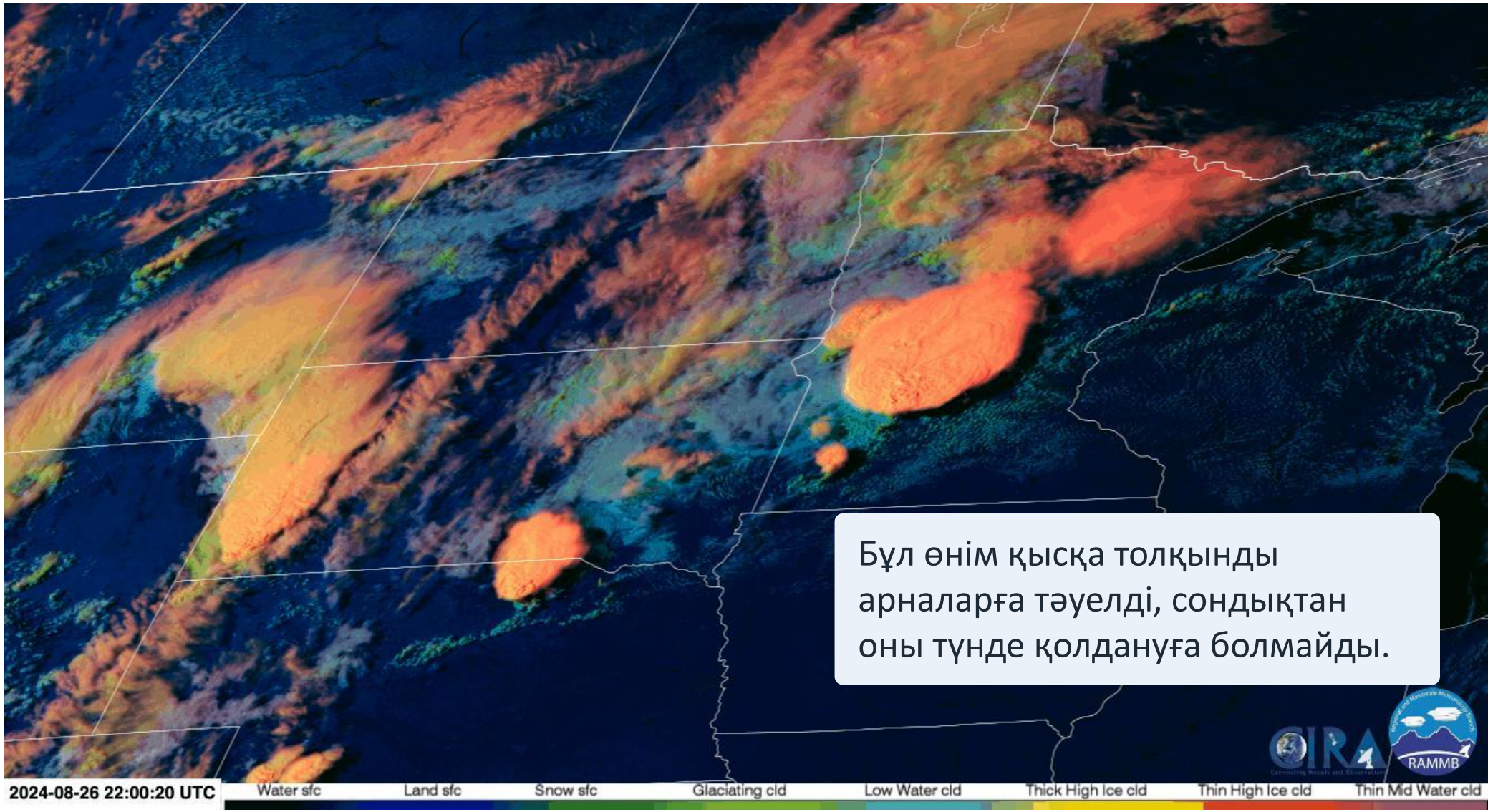
IR Window: 2200-0000 (17:00-19:00)



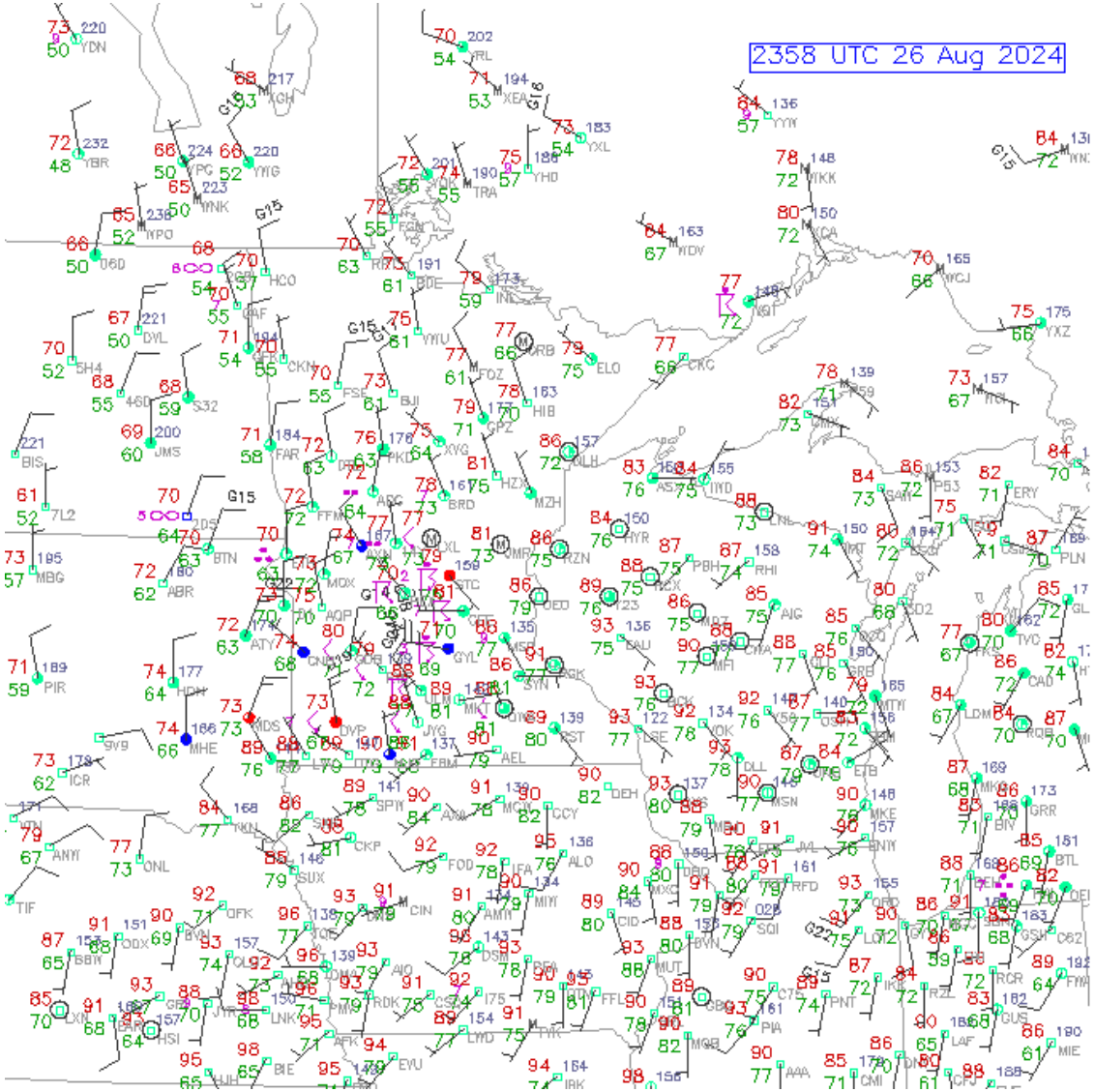
Жалпы ағын оңтүстік-батыстан солтүстік-шығысқа бағытталған, ал дауылдар тура шығысқа жылжып барады.

Суперұяшықты дауылдар әдетте орташа желдің оң жағына қарай ығысады.

Day Phase: 2200-0000 (17:00-19:00)



Жер беті: 0000 UTC (жергілікті 19:00)



°F	°C
60	15.5
65	18.3
70	21.1
75	23.9
80	26.7
85	29.4
90	32.2
95	35.0

Әлі де ыстық!

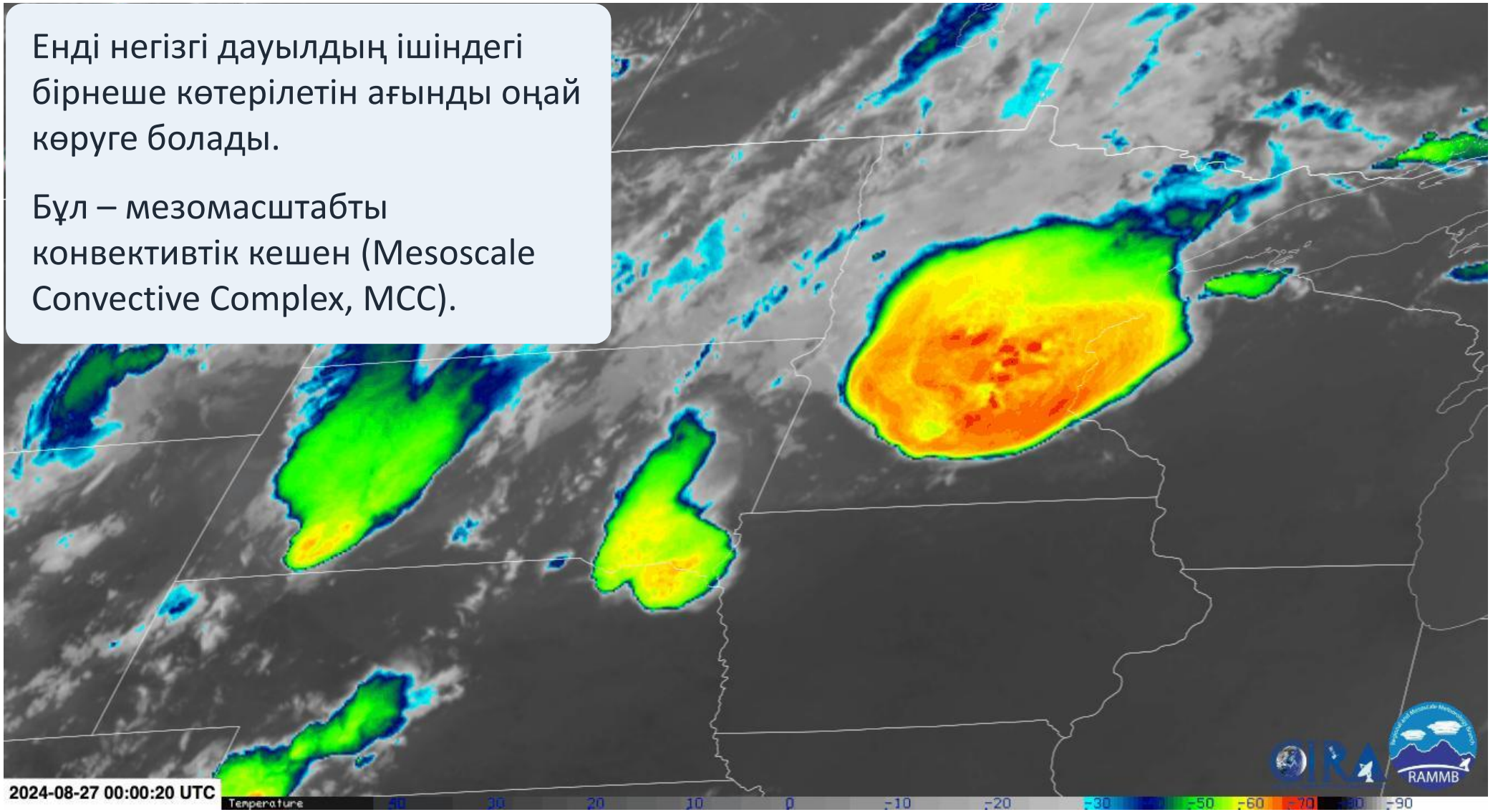
Күн батып барады, бірақ көптеген жерде температура әлі 30 °C-тан жоғары!

Фронттың артында ауа райы әлдеқайда жайлы.

IR Window 0000-0300 (19:00-22:00)

Енді негізгі дауылдың ішіндегі бірнеше көтерілетін ағынды оңай көруге болады.

Бұл – мезомасштабты конвективтік кешен (Mesoscale Convective Complex, MCC).

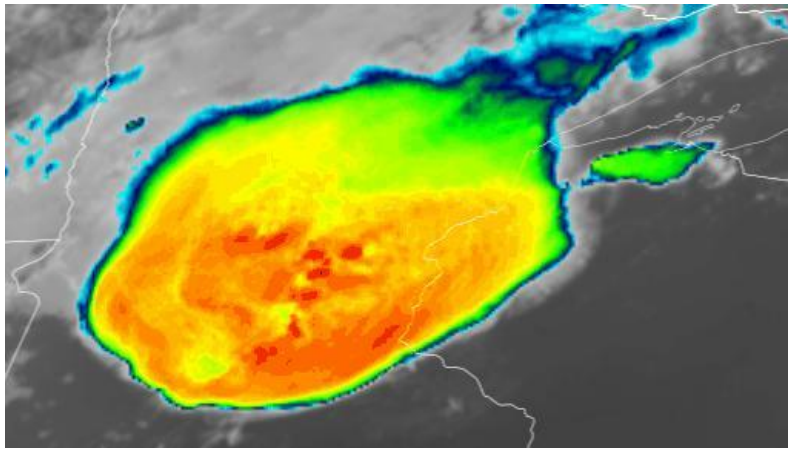


MCC: түнгі алыптар

Күн батып, дауылдар шоғыры күшейе түседі.

Неліктен?

- Төменгі деңгейдегі ағынды ағыс (low-level jet)
  - Турбулентті араласу тоқтайтындықтан, жерден шамамен 1000 м биіктікте жел күшейеді.
  - Соның нәтижесінде оңтүстіктен келетін ылғалды ауа дауылға тезірек сіңеді.
- Тұрақсыздық артады
  - Бұлт шыңы ұзын толқынды сәуле шығару есебінен салқындайды.



12 сағат немесе одан да ұзақ сақталуы мүмкін.
1500 км-ге дейін жол жүреді.

Ең басты қауіптер – қиратушы жел мен ірі бұршақ, бірақ торнадо да болуы мүмкін.

Азияға қарағанда АҚШ-та жиі кездеседі, бірақ климаттың өзгеруі бұл жағдайды өзгертуі мүмкін.

Қорытынды

1. Терең конвекцияға тұрақсыздық (CAPE), ылғал және көтеруші механизм қажет; CIN оның басталуын тежейді.
2. Lifted Index неғұрлым теріс болса, атмосфера соғұрлым тұрақсыз.
3. Тесіп өтетін шың мен Enhanced V — күшті көтерілетін ағынның және қауіпті дауылдың белгісі.
4. Таралатын ағын (outflow) шекаралары жаңа конвекцияны туғызады; кіретін ағыны (inflow) үзілген дауыл сөнеді.
5. Су буы арналары бұлтсыз ауаның қозғалысын, Day Phase өнімі бұлт фазасын көрсетеді (тек күндіз).
6. MCC түнде төменгі деңгейдегі ағынды ағыс есебінен күшейіп, 12 сағаттан ұзақ сақталуы мүмкін.

Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар

1. CAPE және CIN нені сипаттайды? Lifted Index қалай есептеледі?
2. CIN-ді еңсеруге қандай факторлар көмектеседі?
3. Анвил мен тесіп өтетін шың қалай пайда болады?
4. Су буы арнасы құрғақ ауаны көрсетсе де, жер бетінде тұман болуы неліктен мүмкін?
5. Enhanced V құрылымы қалай түзіледі және нені білдіреді?
6. Мезомасштабты конвективтік кешен (MCC) неліктен түнде күшейеді?

Пайдаланылған дереккөздер

1. Markowski P., Richardson Y. Mesoscale Meteorology in Midlatitudes. – Chichester: Wiley-Blackwell, 2010. – 407 p.
2. Maddox R.A. Mesoscale convective complexes // Bulletin of the American Meteorological Society. – 1980. – Vol. 61, No. 11. – P. 1374–1387.
3. Bedka K., Brunner J., Dworak R. et al. Objective satellite-based detection of overshooting tops using infrared window channel brightness temperature gradients // Journal of Applied Meteorology and Climatology. – 2010. – Vol. 49. – P. 181–202.
4. Brunner J.C., Ackerman S.A., Bachmeier A.S., Rabin R.M. A quantitative analysis of the enhanced-V feature in relation to severe weather // Weather and Forecasting. – 2007. – Vol. 22. – P. 853–872.
5. Schmit T.J., Griffith P., Gunshor M.M. et al. A closer look at the ABI on the GOES-R series // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2017. – Vol. 98, No. 4. – P. 681–698.
6. EUMETSAT Data Viewer (EUMETView). – URL: https://view.eumetsat.int

3-зертханалық жұмыс: қауіпті ауа райы!







Фото: X / @WeatherSarov1

Бұл зертханалық жұмыста сіз EUMETSAT Data Viewer құралы арқылы өткен айда Астананы (Қазақстан) күйреткен ірі бұршақты дауылдың жерсеріктік суреттерін қарайсыз.