



# **Ледяной шторм в Приморье 18-19 ноября 2020 г.**

**И.А. Гурвич, М.К. Пичугин,  
А.В. Баранюк, Е.С. Хазанова**

*Тихоокеанский  
океанологический институт  
им. В.И. Ильичева ДВО РАН,  
Владивосток, Россия,  
[gurvich@poi.dvo.ru](mailto:gurvich@poi.dvo.ru)*

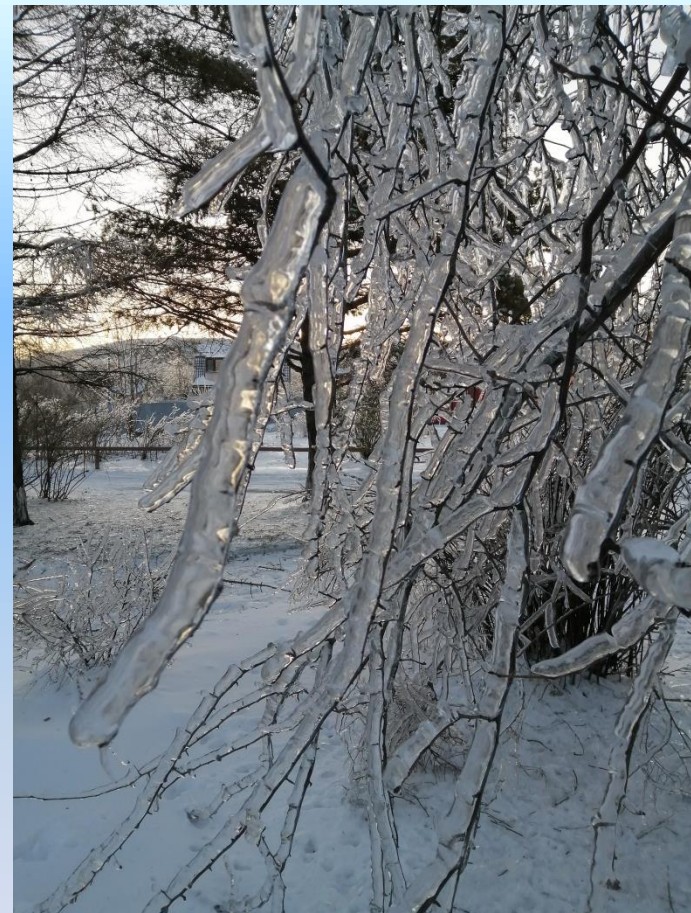
**18-19 ноября 2020 г. в Приморском крае впервые за все время метеонаблюдений было зарегистрировано уникальное для Дальнего Востока опасное погодное явление – «ледяной дождь».**

**Ледяной дождь возникает в зонах теплых атмосферных фронтов при наличии инверсии температуры в нижней тропосфере, если до высот 1–2 км и более формируется атмосферный слой толщиной в несколько сот метров с положительной температурой, а температура воздуха у поверхности земли остается отрицательной. При этом атмосфера сильно стратифицирована: теплая (выше точки замерзания) влажная воздушная масса натекает на более холодный, подмерзший поверхностный слой воздуха (Simonson, 2020; Вильфанд Р.М., Голубев, 2011).**

**Из-за катастрофических последствий ледяной дождь получил название ледяного или серебряного шторма.**

**В США и Канаде, где это явление наблюдается часто и может продолжаться несколько дней, убытки от ледяных штормов оцениваются в миллиарды долларов. Они парализуют транспортную, водопроводную и энергетическую инфраструктуру городов и населенных пунктов, наносят огромный урон лесам и паркам.**

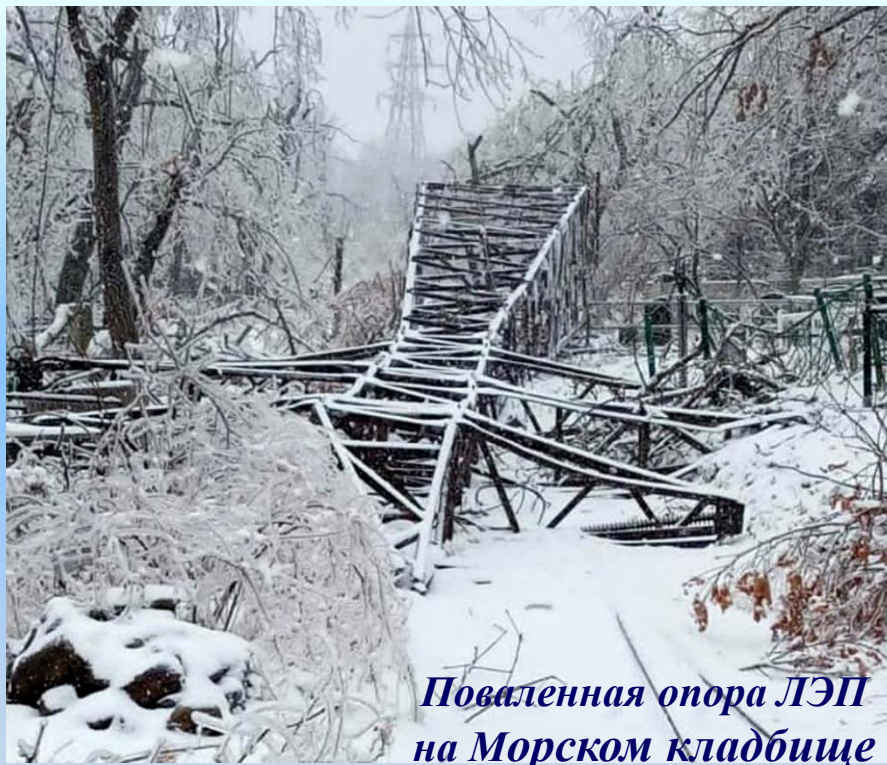
- Несмотря на то, что ледяной дождь в Приморье наблюдался менее суток и охватил в основном юго-западную часть края, нанесенный им ущерб по предварительным оценкам краевой администрации **превысил 1 млрд рублей.**
- Из-за обрыва проводов и падения опор линий электропередач на труднодоступных участках было нарушено электроснабжение, аварии на электросетях в Приморье оставили без света около 100 тыс. человек. Некоторые районы Владивостока были обесточены более недели.
- Были повреждены вантовые опоры моста на о. Русский, из-за чего нарушилось сообщение с островом.
- Пострадали 80-90% деревьев, последствия ледяного дождя устранялись более полугода.



*Гололед на ветках деревьев  
около ТОИ ДВО РАН*

**Катастрофические последствия ледяного дождя в Приморье дают основание идентифицировать его как «ледяной шторм».**

# Трагические последствия ледяного шторма во Владивостоке



## Два механизма формирования ледяного дождя:

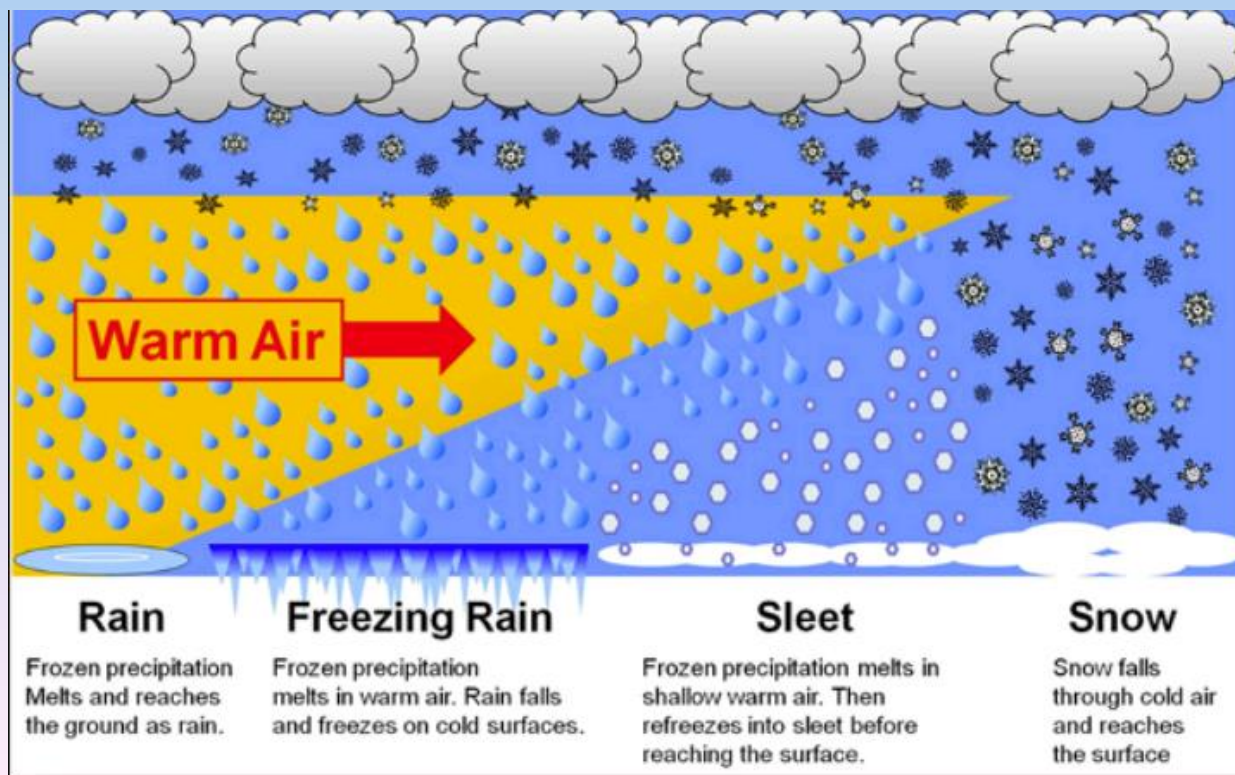
- В отечественной литературе ледяной дождь определяется как переохлажденные атмосферные осадки в виде прозрачных шариков льда диаметром 1–3 мм, содержащие внутри незамерзшую воду, и выпадающие при отрицательной температуре воздуха у поверхности земли.

*Теплая (температура выше точки замерзания) влажная воздушная масса натекает на более холодный приповерхностный слой воздуха (Вильфанд, Голубев, 2011; Голубев и др., 2013; Simonson, 2020). Выпадающие твердые осадки в теплом слое воздуха тают, превращаясь в дождь. В нижележащем холодном воздухе, достигающем подстилающей поверхности, капли дождя покрываются ледяной коркой и превращаются в ледяные шарики, содержащие внутри незамерзшую воду. При падении на поверхности и предметы шарики разбиваются, вытекающая вода при отрицательной температуре замерзает и образует гололед.*

## Два механизма формирования ледяного дождя:

- По определению Американского метеорологического общества, ледяной дождь может выпадать в виде переохлажденных жидких осадков.

*В результате соприкосновения переохлажденных капель с поверхностями открытых объектов при отрицательной температуре воздуха, на последних образуется ледяная глазурь – покрытие из плотного гладкого прозрачного льда (Clima, Morgan, 2015).*



## **Мотивация исследования**

**Возможности спутниковых измерений и современных реанализов высокого разрешения для климатологических исследований ледяных дождей с учетом сети стандартных метеонаблюдений на труднодоступных территориях.**

## **Задачи исследования**

- 1. Анализ условий формирования и характеристик ледяного дождя над южной частью Приморского края 18-19 ноября 2020 г.**
- 2. Идентификация областей с условиями, благоприятными для формирования ледяного дождя, пространственное распределение зон осадков, оценки их количества и интенсивности с использованием измерений многоканального микроволнового радиометра GMИ (Microwave Imager) и радиолокатора DPR на спутнике GPM (The Global Precipitation Measurement), а также современных реанализов высокого разрешения ERA5 и ERA5-Land Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF).**

## Данные и методы исследования

Исследование базировалось на комплексном использовании спутниковых измерений, стандартных метеонаблюдений, данных аэрологического зондирования и реанализа.

**Контактные измерения – анализ синоптического процесса и структуры термобарического поля тропосферы:**

- карты приземного анализа и барической топографии AT850, AT700, AT500 Японского метеорологического агентства (ЯМА);
- измерения метеоэлементов в стандартные синоптические и промежуточные сроки на одиннадцати метеостанциях Приморского УГМС, в частности на метеостанции «Владивосток» (локальный идентификатор 31960);
- данные радиозондирования атмосферы на аэрологической станции Приморского УГМС «Садгород» (локальный идентификатор 31977) были получены с сайта <http://weather.uwyo.edu/upperair/>
- стандартные измерения дополнялись измерениями диаметра ледяной глазури жителями Артема и Владивостока, принявшими участие в сборе и передаче данных о толщине отложений льда.





## Спутниковые измерения

### ■ Идентификация, анализ эволюции и отслеживание траекторий барических образований:

- спектрорадиометры MODIS в оптическом (разрешение 250 м) и ИК (разрешение 1 км) диапазонах длин волн на спутниках Aqua и Terra;
- радиометр VIIRS в ИК диапазоне (разрешение 375 м) на спутнике Suomi NPP;
- многоспектральный радиометр AHI (Advanced Himawari Images) в ИК диапазоне (разрешение 2 км) и видимом диапазоне (разрешение 1 км) с временным шагом 10 мин на геостационарном спутнике Himawari-8 (использовался временной шаг 1 ч);

### ■ Оценка направления и скорости приводного ветра:

- скаттерометры ASCAT на спутниках MetOp-A/B и скаттерометр Ku-диапазона на спутнике SCATSAT-1 с пространственным разрешением 12,5 км, полезная нагрузка которого идентична полезной нагрузке скаттерометра OSCAT на спутнике Oceansat-2.

## Спутниковые измерения

### ■ Количественные оценки интенсивности осадков и анализ характеристик ледяного дождя:

- двухчастотный дождевой радиолокатор **Dual-frequency Precipitation Radar (DPR)** в Ku- (13,5 ГГц) и Ka-диапазонах (35,5 ГГц) на борту **The Global Precipitation Measurement (GPM)** – спутника с высотой орбиты 400 км, позволяющего проводить измерения в средних и частично в высоких широтах (65°ю.ш. – 65°с.ш.) (Hou et al., 2013) (использовались данные DPR уровня Level-2A (<ftp.gportal.jaxa.jp>), включающие вертикальные профили интенсивности осадков (Pr, мм/ч) с шагом 250 м по вертикали и горизонтальным разрешением 5-км; максимальная ширина полосы обзора – 245 км);

- поля яркостных температур на частотах 166, **183,31±3** и **183,31±7** ГГц с разрешением 6 км, измеренных многоканальным микроволновым радиометром **GPM Microwave Imager (GMI)** (последние два частотных канала находятся в окрестности резонансной линии водяного пара и чувствительны к осадкам в различных слоях тропосферы, в том числе к ледяному дождю (Adhikari and Liu, 2019)).

## Реанализ ERA5 и ERA5-Land – зоны ледяного дождя и суммы осадков:

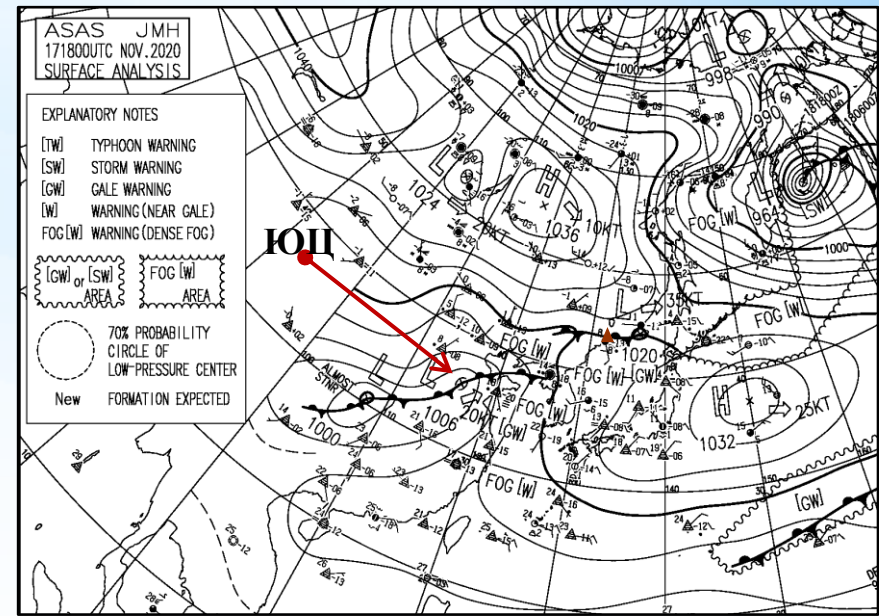
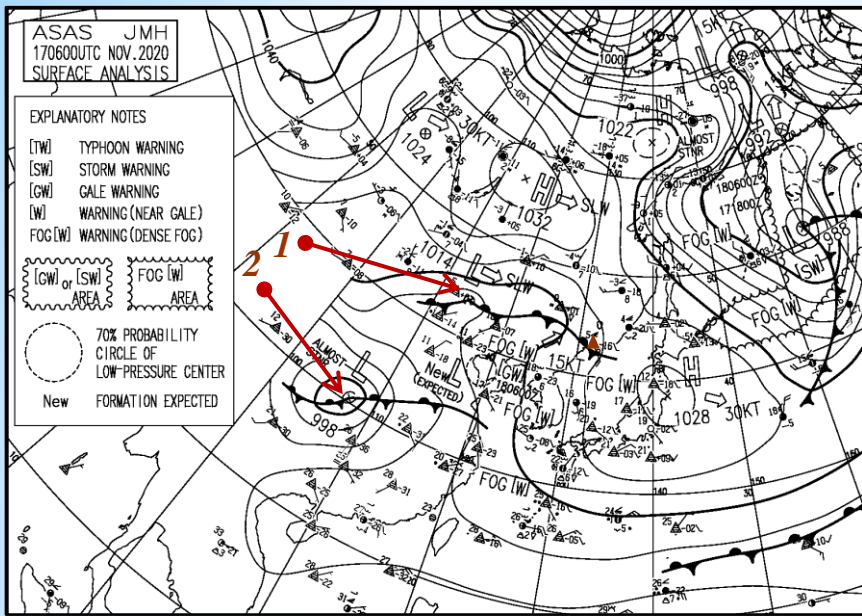
- ежечасные поля общего количества жидких и твердых осадков ( $P_r$ , мм/ч), падающих на поверхность Земли, и температуры воздуха у поверхности ( $T_{2M}$ , °C) и в слое нижней тропосферы ( $T_i$ , °C) на стандартных изобарических поверхностях ( $i = 1000 - 500$  гПа) – из двух реанализов Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF):

1) **ERA5** с пространственным разрешением **~31 км**, разработанного на основе интегрированной системы прогнозирования Cy41r2 и улучшенной ассимиляции данных наблюдений (Hersbach et al., 2020);

1) **ERA5-Land** – повторного воспроизведения компонента **ERA5** над сушей с исходным разрешением модели **9 км**. (Muñoz-Sabater, 2019). Из-за различий в разрешении ERA5 и ERA5-Land поля  $P_r$ ,  $T_{2M}$  и  $T_i$  приведены в узлы регулярной сетки  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  методом билинейной интерполяции.

После интерполяции полей  $T_i$  из ERA5 в каждом узле определялась максимальная температура воздуха в слое атмосферы до 500 гПа ( $T_{MAX}$ ).

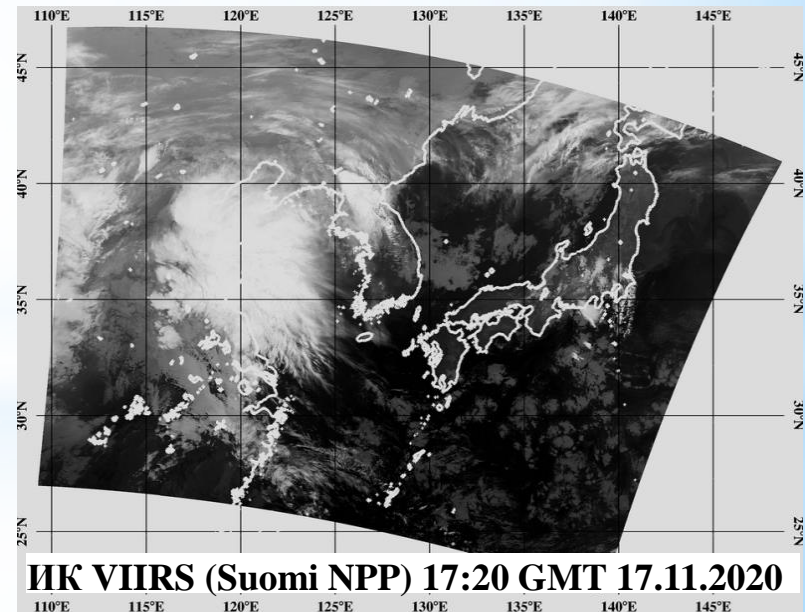
«Любая зона осадков на суше с отрицательной приземной температурой ( $T_{2M} < 0^\circ\text{C}$ ) и теплым слоем в свободной атмосфере ( $T_{MAX} > 4^\circ\text{C}$ ) определяется как область с ледяным дождем» (Robbins, Cortinas, 2002).



## Предшествующая синоптическая ситуация

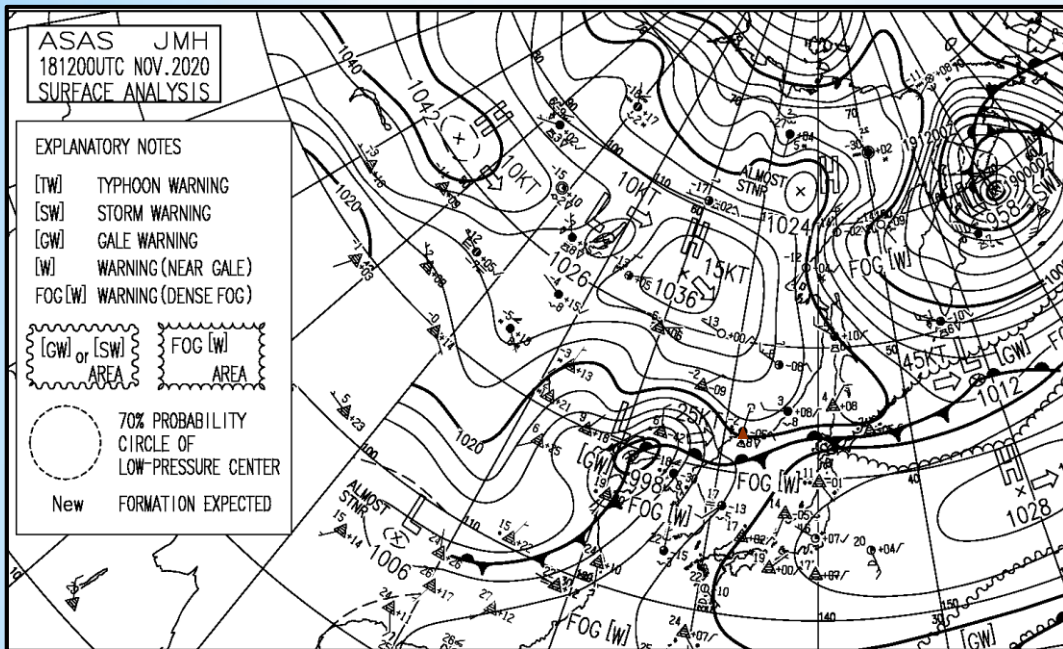
- Два широтно ориентированных параллельных стационарных фронта (1, 2).
- На север Вьетнама 15 ноября вышел тайфун Вамко, который вынес на территорию Китая теплую и очень влажную воздушную массу.
- Над Китаем на волне фронта 2 образовался циклон, выход которого на Японское море идентифицировался как южный синоптический процесс.
- Дождь во Владивостоке начался в **15 GMT 17 ноября** из облачности стационарного фронта 1, который обострялся по мере приближения ЮЦ.

## Положительная температура воздуха у земли



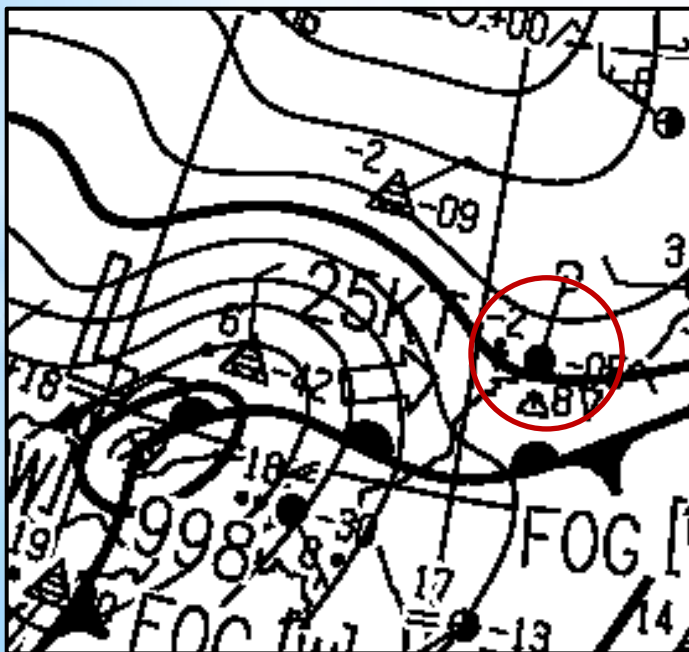
Облачная шапка ЮЦ в начальной стадии развития

# Адвективная инверсия



31977 Vladivostok (Sad Gorod) Observations at 12Z 18 Nov 2020

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot
1011.0	82	-1.3	-1.9	96	3.30	340	4
1000.0	180	-1.9	-3.2	91	3.03	345	16
996.0	212	-2.1	-3.3	91	3.02	345	19
971.0	414	-3.3	-4.0	95	2.95	5	19
950.0	587	-4.3	-4.5	99	2.89	13	16
946.0	620	-3.7	-3.7	100	3.09	15	16
925.0	800	1.4	1.2	99	4.53	40	14
920.0	844	2.6	2.6	100	5.04	45	12
898.0	1041	4.2	4.2	100	5.79	115	6
875.0	1251	3.2	3.2	100	5.52	130	8
852.0	1468	2.1	2.1	100	5.25	120	4
850.0	1487	2.0	2.0	100	5.23	125	6
807.0	1902	0.4	0.4	100	4.90	185	8
797.0	2002	0.0	0.0	100	4.82	193	11
770.0	2277	0.4	0.4	100	5.14	215	21
746.0	2530	-0.0	-0.0	100	5.15	235	29
719.0	2823	-0.5	-0.5	100	5.16	238	33
700.0	3036	-1.7	-1.7	100	4.85	240	35
639.0	3753	-5.0	-5.0	100	4.16	240	49
557.0	4832	-9.9	-9.9	100	3.25	251	49
534.0	5157	-11.5	-12.0	96	2.87	255	49
500.0	5660	-14.3	-14.8	96	2.44	260	49



Во Владивостоке в  
12 GMT 18 ноября

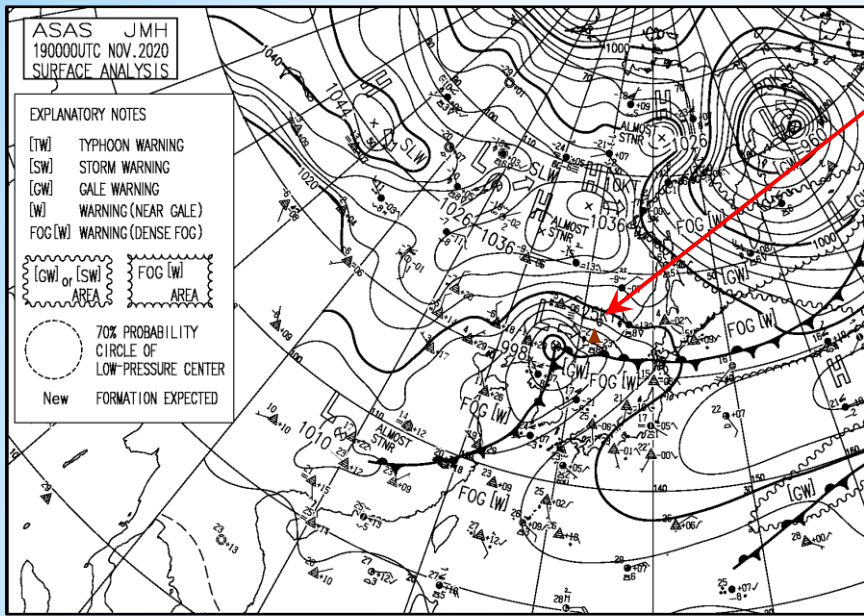
$T_{\text{возд.}} = -2^{\circ}\text{C}$

(метеостанция  
«Владивосток»)

Отрицательная  
температура в слое  
до 600-700 м.

Положительная  
температура в слое  
до 2500 м.

Фрагмент данных радиозондирования  
атмосферы в 12 GMT 18 ноября 2020 г.  
Аэрологическая станция «Садгород»

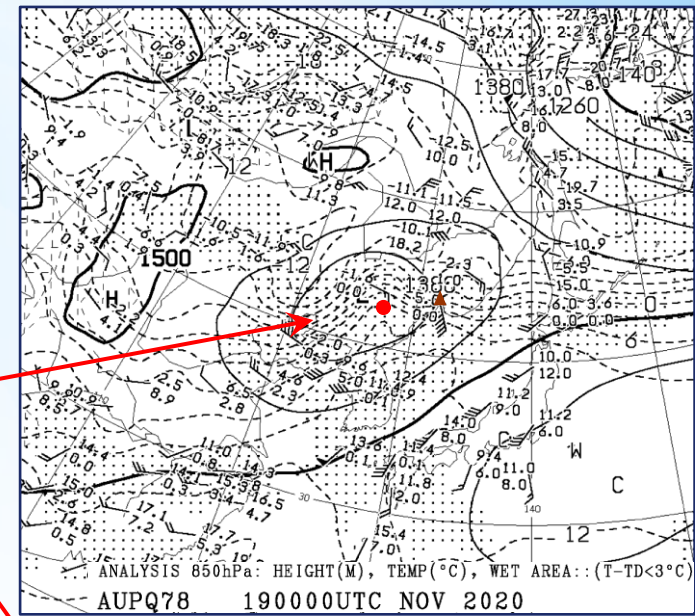


ЮЦ

▲ Владивосток

Термическая асимметрия

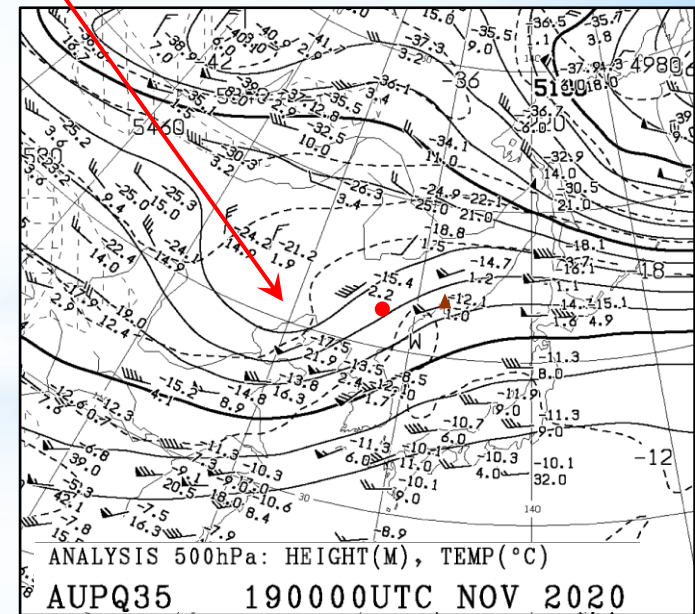
Высотная ложбина



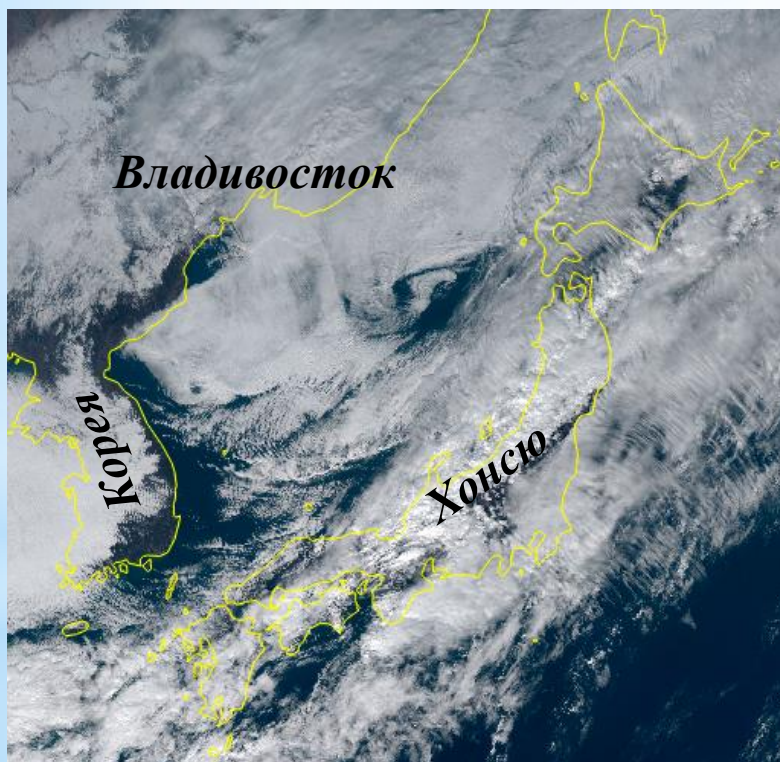
Из волны стационарного фронта сформировалась фронтальная система ЮЦ с теплым и холодным участками. Усиление меридиональности.

Структура термобарического поля нижней тропосферы (карта AT850 в 00 GMT 19 ноября: термическая асимметрия и большие горизонтальные градиенты температуры воздуха ( $\approx 4^\circ\text{C}/100\text{ км}$ ) за счет интенсивной адвекции тепла в передней части ЮЦ и холода – в тылу.

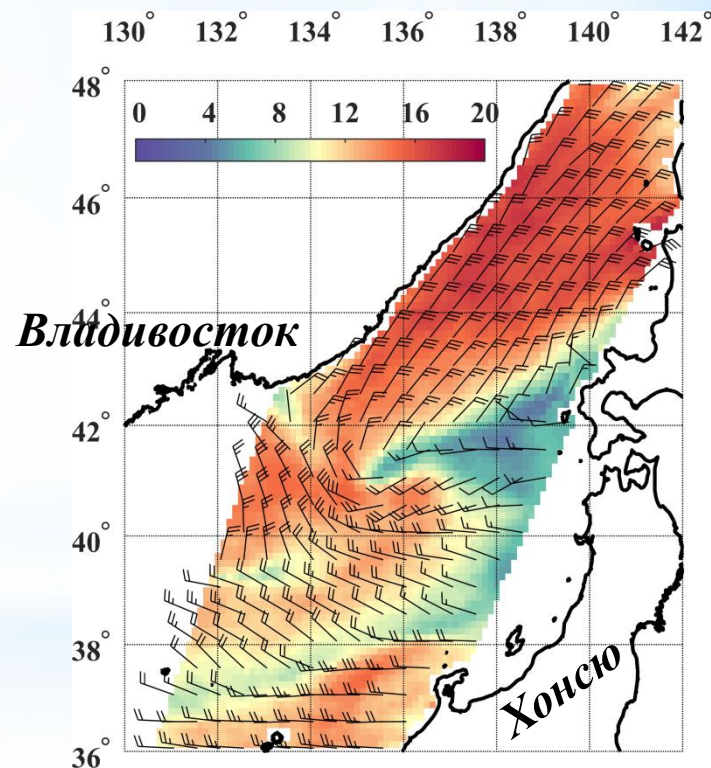
С выходом ЮЦ связан вынос устойчиво стратифицированной субтропической воздушной массы на Приморье воздушным потоком в передней части высотной ложбины.



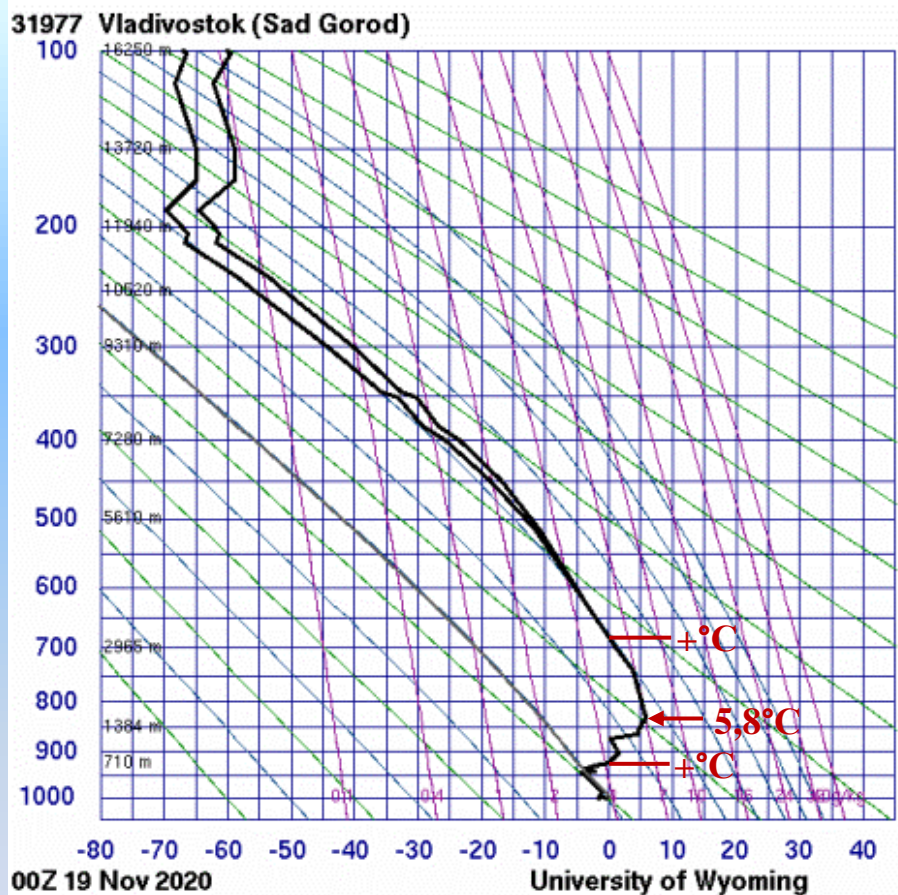
- В течение суток 19 ноября ЮЦ пересек Японское море, 20 ноября вышел на Южные Курилы и далее перемещался на северо-восток без развития.
- После прохождения циклона холодное вторжение над Японским морем длилось 5 суток (с 19 по 24 ноября), что повлияло на продолжительность гололедных явлений и усугубило их последствия.
- В тылу ЮЦ образовались два полярных мезоциклона со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с, которые существовали над Японским морем не более суток.



Видимое изображение радиометра АНІ (спутник Himawari-8) в 03:00 GMT 20 ноября 2020 г.



Поле вектора приводного ветра по данным скаттерометра ASCAT (спутник MetOp-B) в 01:27 GMT 20 ноября 2020 г.



**К 00 GMT 18 ноября** в тропосфере сформировался слой положительных температур толщиной 958 м, в котором  $\approx 300$  м занимала инверсия.

**К 00 GMT 19 ноября** толщина инверсионного слоя увеличилась до 960 м, а слой положительных температур распространился почти до 3000 м и составлял более 2 км. От поверхности земли примерно до 700 м  $T$  воздуха была  $< 0^\circ\text{C}$ .

Относительная влажность воздуха 100% регистрировалась до высоты  $\approx 4800$  м в 12 GMT 18 ноября и до высоты  $\approx 3800$  м в 00 GMT 19 ноября.

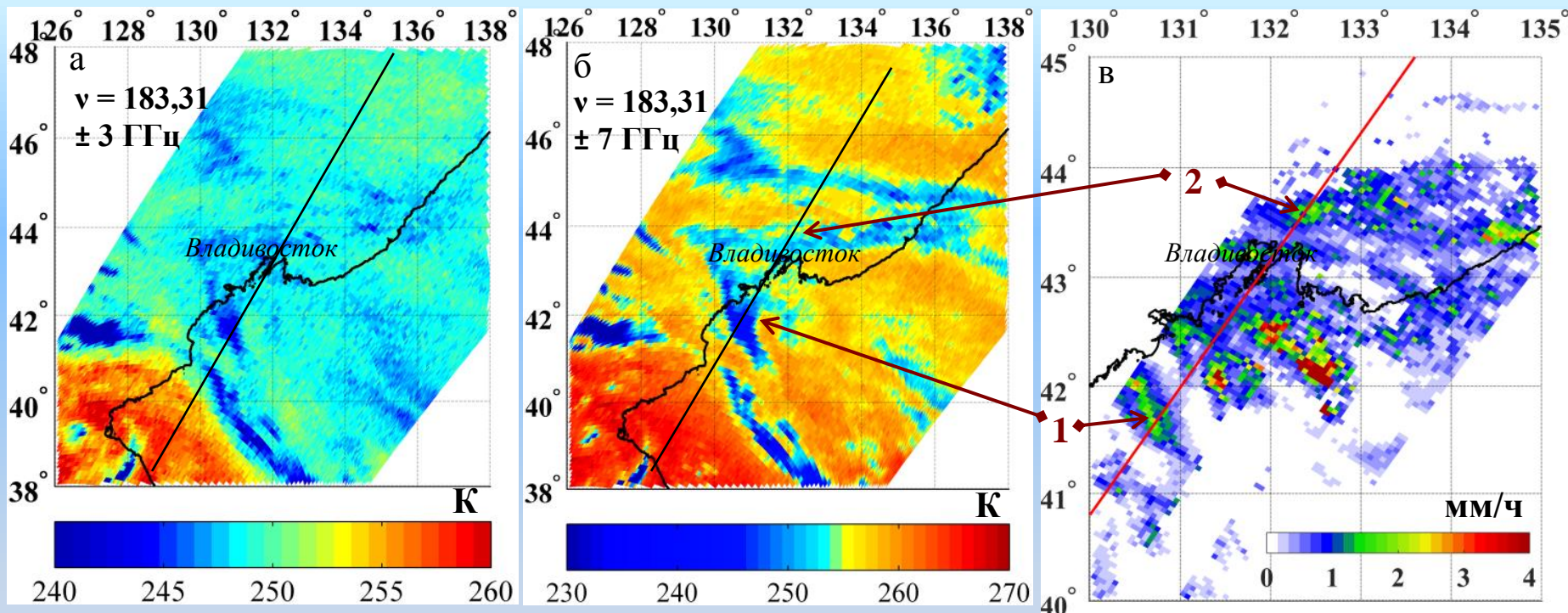
Красные линии обозначают толщину слоя с положительными температурами. Стрелка указывает на максимальную температуру слоя

Жидкие осадки формировались в слое тропосферы толщиной **более 2 км** с положительными температурами (до  **$5,8^\circ\text{C}$** ) и высокими значениями относительной влажности (преимущественно **100%**).

Проходя через приземный слой воздуха с отрицательными температурами толщиной **600-700 м**, переохлажденные жидкие осадки соприкасались с поверхностями различных объектов и вызвали быстрое нарастание на них ледяной глазури (гололед). Толщина отложений льда варьировала от **12 мм** до **51 мм**.



# Измерения со спутника GPM - распределение осадков



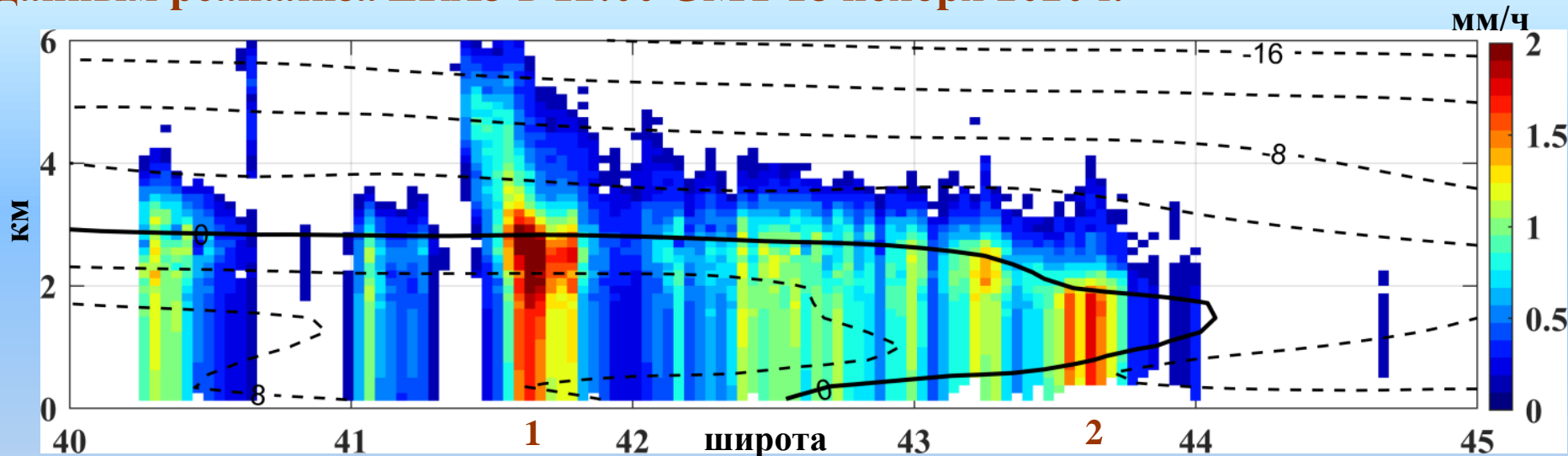
Поля яркостных температур по измерениям радиометра GMI (а-б) и интенсивность осадков по измерениям радиолокатора DPR (в) в 12:10 GMT 18 ноября 2020 г.

**Черная линия - вертикальный профиль температуры воздуха и интенсивности осадков по данным реанализа ERA5 (см. следующий слайд)**

- а)  $Tя(\nu = 183,31 \pm 3 \text{ ГГц}) = 240\text{-}247 \text{ К}$  - чувствительна к осадкам во всей толще тропосферы;
- б)  $Tя(\nu = 183,31 \pm 7 \text{ ГГц}) = 230\text{-}248 \text{ К}$  - чувствительна к осадкам в нижних слоях тропосферы.

**По данным радиолокатора DPR, интенсивные осадки (1-2 мм/ч в отдельных очагах над сушей и до 4 мм/ч над морем) регистрировались в зонах с пониженными значениями  $Tя(\nu = 183,31 \pm 7 \text{ ГГц})$ , т.е. в нижних слоях тропосферы (б, в).**

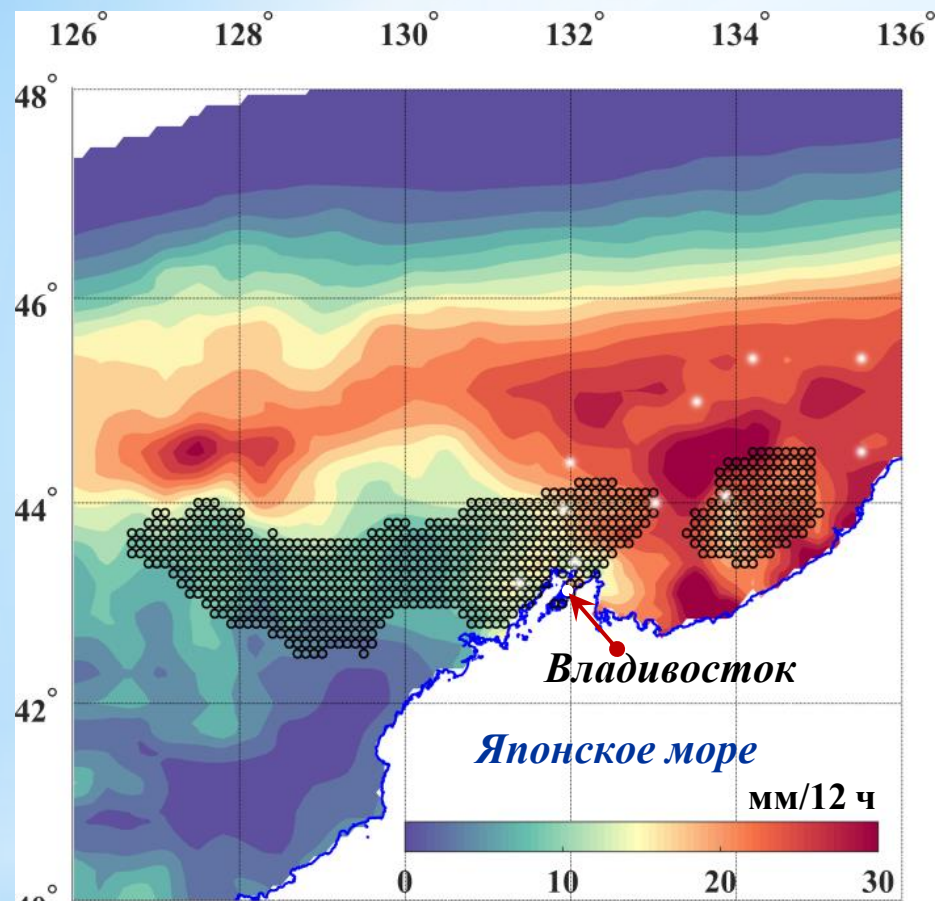
## Вертикальный профиль температуры воздуха и интенсивности осадков по данным реанализа ERA5 в 12:00 GMT 18 ноября 2020 г.



- Формирование осадков слое до 3 км при  $T$  воздуха  $> 0^{\circ}\text{C}$ .
- Натекание теплого воздуха на клин холодного.
- Два пика интенсивности осадков ( $\geq 1,5-2$  мм/ч) в области пониженных  $T_{\text{я}}$  (см. предыдущий слайд): 1 – над морем между 41 и 42 параллелями, 2 – над Владивостоком и к северу от него, где наблюдались максимальные по диаметру отложений и наиболее продолжительные по времени гололедные явления.

В 12:00 GMT 18 ноября во Владивостоке и Артеме (на 38 км севернее) интенсивность осадков была  $\sim 1,2-1,3$  мм/ч. Метеостанция «Владивосток» регистрировала слабый ливневый дождь с нарастанием диаметра гололедных отложений от 1 мм в 09 GMT до 5 мм в 15 GMT. На метеостанции «Владивосток Аэропорт» (Артем) в 12:00 GMT регистрировался слабый замерзающий переохлажденный дождь.

## Идентификация ледяного дождя по данным ERA5-Land



Распределение накопленных за 12 ч сумм осадков по данным реанализа ERA5-Land (период 21 GMT 18 ноября – 09 GMT 19 ноября)

Зоны осадков  $> 30$  мм/12 ч локализованы на юго-западе Приморья и местами вдоль юго-восточного побережья.

Сумма осадков во Владивостоке по данным реанализа =  $22-23$  мм/12 ч, что близко к фактическим измерениям на метеостанции «Владивосток» –  $26$  мм/12 ч за этот же период.

Черными кружочками обозначены узлы сетки, в которых благоприятные для формирования ледяного дождя условия выполнялись в течение 6 ч. Общая площадь областей с благоприятными условиями составляла  $\approx 89000$  км<sup>2</sup>

Белые точки – метеостанции в Приморском крае, где регистрировался ледяной дождь и гололед.

При использовании критерия  $T_{2M} < 0^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{MAX} > 4^{\circ}\text{C}$  (таяние твердых осадков) в зону с благоприятными условиями попало **54% метеостанций**, где был зарегистрирован ледяной дождь. При понижении  $T_{MAX}$  до  $3^{\circ}\text{C}$  (т.к. в теплом воздухе формировались жидкие осадки) в зону с благоприятными условиями попали более **70% метеостанций** с сообщениями о ледяном дожде.

## Выводы

- ❑ Ледяной дождь 18-19 ноября 2020 г. на юге Приморского края был зарегистрирован впервые за все время метеонаблюдений. Несмотря на небольшую площадь распространения, катастрофические последствия во Владивостоке, Артеме и ряде других населенных пунктов дают основание идентифицировать его как «**ледяной шторм**».
- ❑ Ледяному шторму предшествовал типичный для этого явления широтный синоптический процесс. Нарушение зональности и выход южного циклона способствовали формированию **адвективной инверсии температуры** в результате натекания теплого влажного воздуха на клин холодного и образованию слоя толщиной **более 2 км с положительной температурой** в тропосфере и приземного слоя (**600-700 м**) с **отрицательной температурой**.
- ❑ Жидкие осадки, соприкасаясь с поверхностями различных объектов при отрицательной температуре воздуха, вызывали быстрое нарастание ледяной глазури (гололед). **Диаметр отложений льда составил 12-51 мм, средний диаметр из 11 измерений – 27 мм.**
- ❑ При совместном использовании измерений радиолокатора **DPR**, микроволнового радиометра **GMI**, реанализа **ERA5** и **ERA5-Land** было получено пространственное распределение зон осадков, оценки их количества и интенсивности. **Жидкие осадки формировались в слое до 3 км при положительных температурах воздуха.**
- ❑ В зоны с благоприятными условиями ( $T_{2M} < 0^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{MAX} \geq 4^{\circ}\text{C}$ ) попало **54% метеостанций** с сообщениями о ледяном дожде и гололеде в Приморье; при понижении критерия  $T_{MAX}$  до  $3^{\circ}\text{C}$  – **более 70% метеостанций** с данными о ледяном дожде.
- ❑ Совместное использование спутниковых измерений и современных реанализов высокого разрешения значительно расширяет возможности климатологических исследований ледяных дождей.

## **Модели:**

- **NCEP GFS** (пространственное разрешение ~27 км)
- **ECMWF - HRES FOCAS MODEL** (пространственное разрешение 9 км) –

прогнозировали ледяной дождь над Китаем и частично Хабаровским краем с выходом южного циклона (влият на Владивосток 8-9 ноября).

**09.11.2021.** Циклон, который принес в Еврейскую автономную область осадки в виде мокрого снега и дождя, привел к многочисленным нарушениям электроснабжения, сообщает пресс-служба регионального главного управления МЧС. В Ленинском, Смидовичском и Октябрьском районах из-за ледяного дождя оборвались линии электропередачи и повредились опоры ЛЭП. В результате без света остался 21 населенный пункт, электроснабжение постепенно восстанавливается (СМИ «Коммерсант», «Российская газета»).

Ледяной дождь и гололед регистрировали метеостанции: Чегдомын (31469), Литовка (31647), Хабаровск (31735), Кура (31632), Богородский (31439), Биробиджан (31713), Екатерино-Никольский (31707), Ленинское(31710).

**Госбюджетная тема, регистрационный № 121021500054-3.**

**Авторы благодарят жителей Артема и Владивостока, принявших участие в сборе и передаче данных о толщине отложений льда.**



**Спасибо  
за  
внимание!**