

Разработка диагностического **алгоритма** идентификации **замерзающих осадков** на **Дальнем Востоке** на основе данных реанализа **ERA5**

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

pichugin@poi.dvo.ru

ТОИ ДВО РАН, лаборатория спутниковой океанологии и лазерного
зондирования



Определение – замерзающий дождь



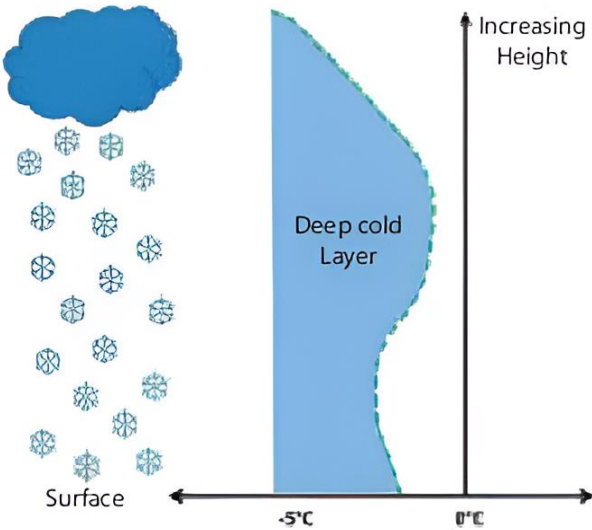
Терминологический анализ

Термин	Определение, словарь ВМО	Определение, Glossary of Meteorology (AMS)	Определение, гидрометеорологический словарь (ГГО им. А. И. Воейкова)
Freezing rain (замерзающий дождь)	дождь из переохлажденных капель, выпадающий при отрицательной температуре окружающей среды. Ударяясь об открытые поверхности, капли замерзают и образуют гололед.	Rain that falls in liquid form but freezes upon impact and forms a coating of ice on the ground and or exposed objects	Капли осадков, замерзающие при контакте, образуя при этом покрытие прозрачного льда (гололеда) на земле и на открытых предметах
Ледяной дождь (ice pellets / gains of ice)	Мелкие прозрачные ледяные частицы неправильной или округлой формы, выпадающие из облаков, поперечником 1—3 мм. Образуются от замерзания капель дождя при их прохождении через нижний слой воздуха с отрицательной температурой; иногда внутри частиц ледяного дождя остается еще не замерзшая вода.	-	Мелкие прозрачные ледяные шарики, выпадающие из облаков, размером 1—3 мм в диаметре.
Ice pellets (Ледяная крупа)	Осадки прозрачных частиц льда сферической или неправильной, редко конической формы диаметром 5 мм или менее.	A type of precipitation consisting of transparent or translucent pellets of ice, less than 5 mm in diameter. They may be spherical, irregular, or (rarely) conical in shape. Ice pellets usually bounce when hitting hard ground and make a sound upon impact. (Sleet)	Твердые осадки, выпадающие из кучево-дождевых облаков в виде мелких частичек плотного льда, обычно белых, но с прозрачной оболочкой, диаметром не более 5 мм.

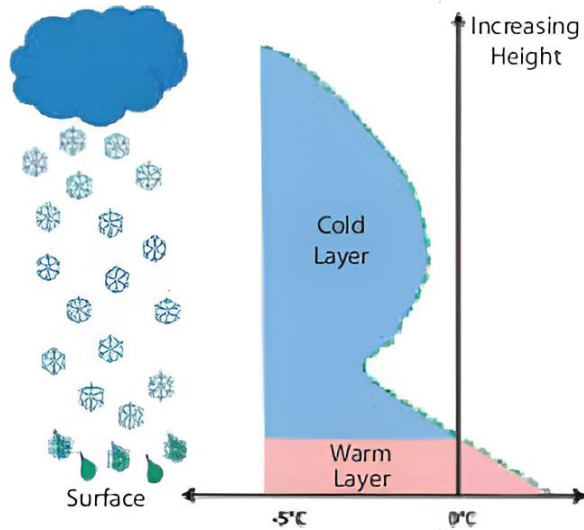
Условия образования различных типов осадков



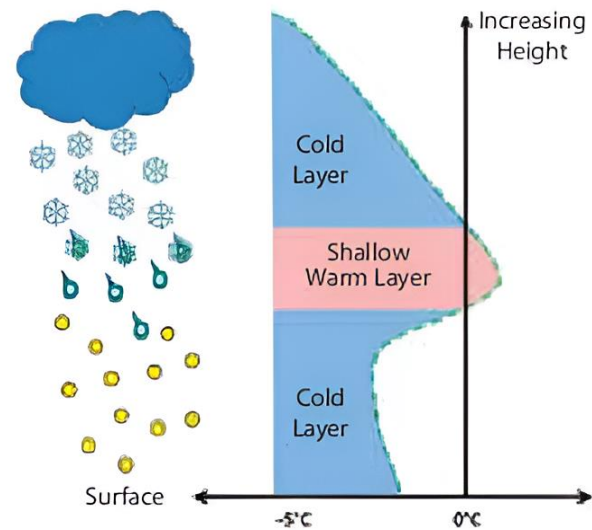
a Snow



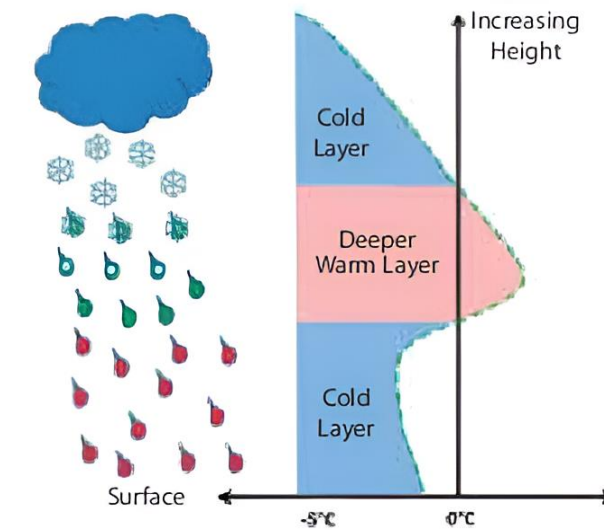
b Melting/wet snow



c Ice pellets



d Freezing rain



----- Temperature of the atmosphere

Схемы вертикальной структуры температуры и типа осадков для четырех сценариев

Снег - температура на всех уровнях ниже нуля

Мокрый снег - уровень заморзания находится вблизи поверхности с образованием поверхностного слоя таяния.

Ледяная крупа - приподнятый тонкий теплый слой с нижележащим холодным слоем (ядра заморзания).

Замерзающий дождь - приподнятый теплый слой с нижележащим холодным слоем (переохлажденные капли).

Мотивация



- **Трудности в прогнозировании:** Ледяные дожди возникают при специфических атмосферных условиях, когда теплый слой воздуха находится над холодным слоем, близким к поверхности. Предсказать такие условия сложно из-за их изменчивости и локальности.
- **Недостаточная плотность метеорологических станций:** Не все регионы имеют достаточное количество метеостанций, что затрудняет сбор данных о температурных профилях атмосферы и текущих погодных условиях.
- **Сложности в дистанционном зондировании:** Спутниковые данные могут не предоставлять достаточной детализации для точной идентификации ледяных дождей, особенно в условиях облачности и при наличии других видов осадков.
- **Влияние микроклимата:** Локальные климатические условия, такие как рельеф местности и наличие водоемов, могут существенно влиять на формирование и интенсивность замерзающих осадков.

Цель и задачи



Цель работы: Разработка регионального алгоритма обнаружения замерзающих осадков в дальневосточном регионе с использованием данных реанализа ERA5 и стандартных метеорологических измерений за 20 холодных сезонов (с сентября по май) с 2004 по 2024 год. Район исследования определяется координатами 25–65° с.ш. и 110–150° в.д., выбранными на основе климатических условий и типичных синоптических процессов.

Задачи:

- **Составление архива** стандартных метеорологических наблюдений случаев **замерзающих осадков** за 20 холодных сезонов: *анализ и учет возможных ошибок в регистрации, включение дополнительных сведений и характеристик.*
- **Разработка и калибровка алгоритмов** идентификации **замерзающих осадков** по данным **ERA5**: *пороговые значения параметров окружающей среды, чувствительность к неоднородности рельефа и типу метеоданных, соответствие опубликованным ранее результатам.*
- **Верификация:** *сравнительный анализ основных метрик точности классификации осадков для предложенных здесь алгоритмов, оригинального метода Финского Метеорологического Института и стандартной классификации типов осадков ERA5.*
- **Апробация алгоритмов:** *межгодовая изменчивость повторяемости замерзающих осадков в континентальной и прибрежной зонах; рассмотрение выбранных случаев интенсивного замерзающего дождя; замерзающие осадки в поле яркостных температур GMI (GPM).*

Методы и данные - метеонаблюдения



Сведения о событиях замерзающих осадков были получены за 20 холодных сезонов из стандартных метеорологических наблюдений на 841 станциях из архива NOAA

<https://www.ncei.noaa.gov/access/search/data-search/global-hourly>

Информация о замерзании дождя и мороси была получена из метеосводок, составленных по кодам FM-12 (ВМО) и KN-01 (Росгидромет), и с аэродромов METAR FM-15.

Раздел 0 M_iM_iM_jM_j YYGGi_w Iiii

Раздел 1 iR_ixhVV Nddff 1s_nTTT 2s_nT_dT_dT_d 3P_oP_oP_oP_o 4PPPP (или 4a₃hhh) 5appp 6RRRt_R

7wwW₁W₂ 8N_hC_LC_MC_H

Раздел 3 333 1s_nT_vT_vT_v 2s_nT₀T₀T₀ 3Es_nT_gT_g 4E'sss 5SSSS 6RRRt_R 8N_sCh_sh_s 9S_pS_pS_pS_p

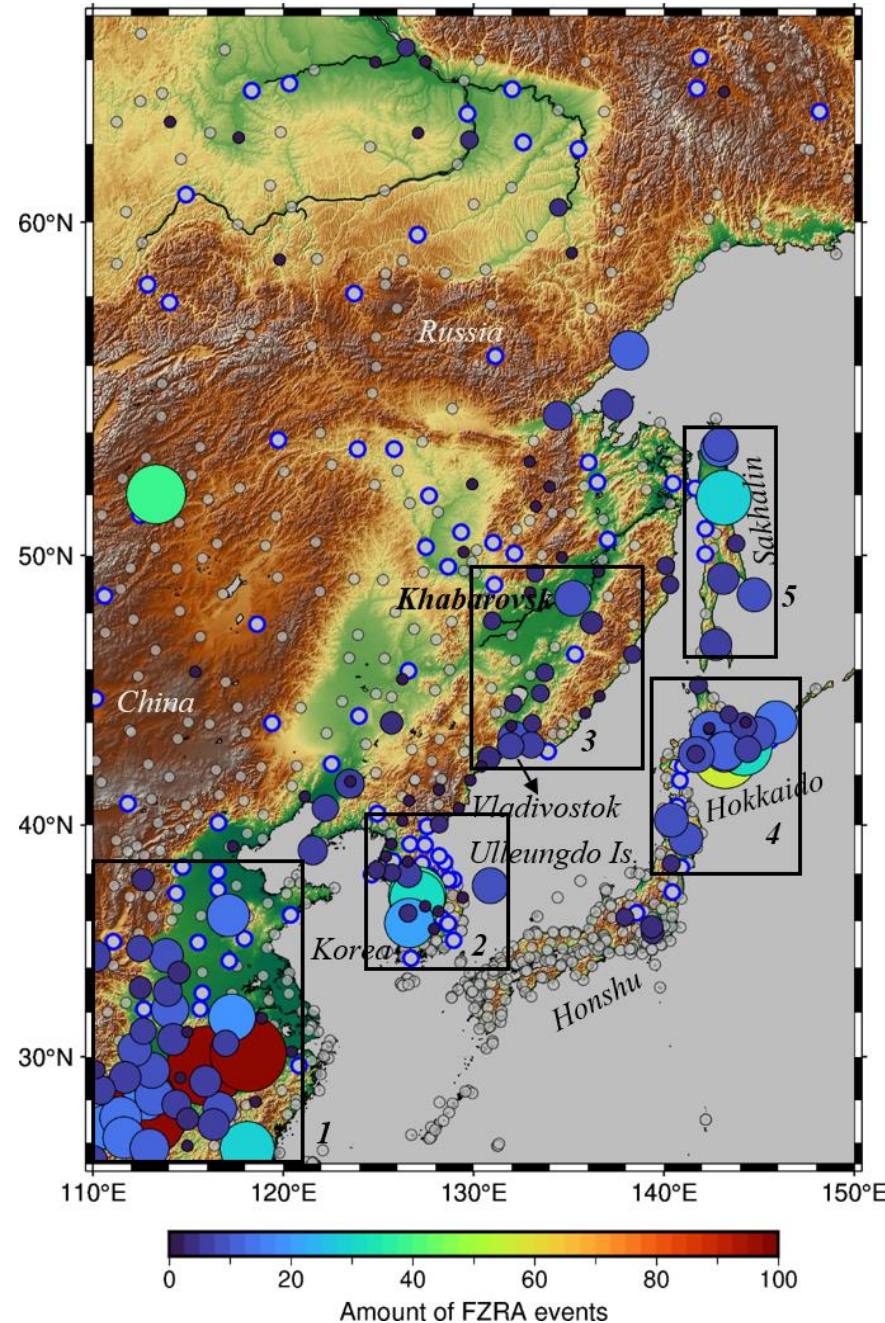
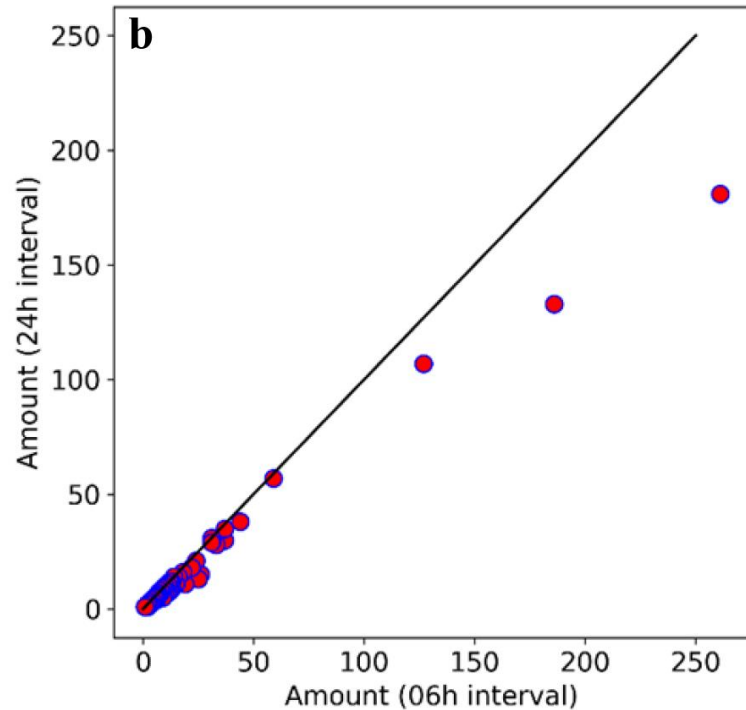
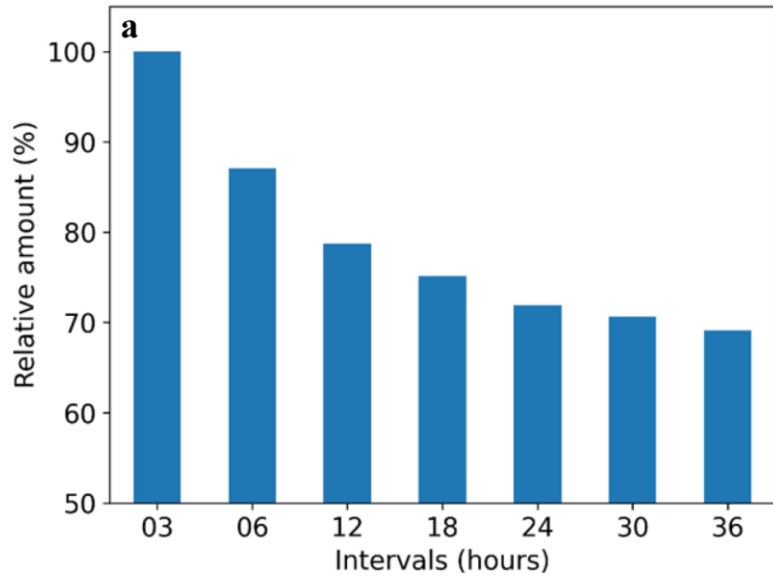
Раздел 5 555 1Es_nT_gT_g (5s_nT₂₄T₂₄T₂₄) (52s_nT₂T₂) (530f₁₂f₁₂) 7R₂₄R₂₄R₂₄/ 88R₂₄R₂₄R₂₄

```
MET073METAR ZYTX 190230Z 32006MPS 8000 -FZRA SCT010 OVC026 M02/M03 Q1007 NOSIG=  
SYN07031878 41597 80204 11034 21037 39969 40093 57046 77972 8802/ 333 93402=  
SYN07631960 41497 8//// 11032 21034 39826 40063 56026 78782 889// 333 91114 93428=  
SYN07031961 41496 83502 11025 21027 30040 40085 58022 77972 8872/ 333 93406=  
MET084METAR ZYTX 190300Z 32006MPS 8000 -FZRA SCT010 OVC026 M02/M04 Q1008 BECMG TL043
```

Измерения с автоматических и автоматических обслуживаемые персоналом станций были исключены из-за ошибок в данных и отсутствие измерений.

После применения фильтров было получено 236 станций с 4701 записями о замерзающих осадках из них: 179 ручных (интервалы измерений 3, 6, 12 часов) и 57 авиационных (интервал измерений 1 час и менее).

Архив событий замерзающих осадков в ДВ регионе



Пространственное распределение общего количества случаев замерзающих дождей за 20 холодных сезонов (сентябрь-май) с 2004 по 2024 гг. по наблюдениям метеостанций.

(1) – Южный район

(2) - Северо-восточный район

(3) Корейский п-ов

(4) о. Хоккайдо

(5) о. Сахалин



Методы и данные – ERA5 vs ERA-Interim



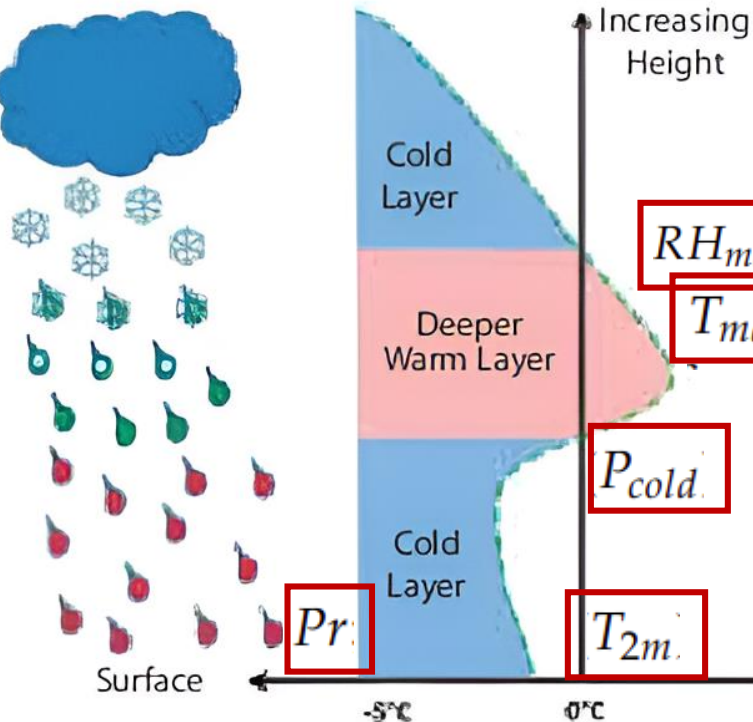
	ERA-Interim	ERA5
Start of production	August 2006 IFS Cy31r2	2016, reach NRT end before 2017 IFS Cy41r2
Model input (radiation and surface)	As in operations, currently OSTIA <i>(inconsistent SST)</i>	Appropriate for climate (CMIP5 including AC&C SPARC ozone, blend HadISST.2.1.0 and OSTIA)
Analysis method	12h 4D-Var	12h 4D-Var + 10-member EDA (T319, 63km)
Spatial resolution	79 km global 60 levels to 10 Pa	31 km global (T639) 137 levels to 1 Pa
Output frequency	6-hourly Analysis fields	Hourly (three-hourly for the EDA), [Extended list of parameters ~ 5 Peta Byte] Uncertainty estimate from EDA Feedback Archive
Time period	1979 - present	1979 – present *
Extra Observations	Mostly ERA-40, GTS	Various reprocessed CDRs
Radiative transfer	RTTOV7	RTTOV11 + CO2, SSU cell-pressure correction

Входные параметры: вертикальные профили **температуры** и **относительной влажности** (1000 - 400 гПа), **приземная температура**, атмосферное **давление у поверхности**, скорость выпадения **осадков**, **температура поверхности**

Диагностический метод



Freezing rain



Диагностический метод обнаружения замерзающих осадков, использует оптимальные пороговые значения метеорологических элементов:

(1) T_{2m} - **приземная температура**, косвенный индикатор слоя замерзания;

(2) **максимальные температура** T_{max} и **относительная влажность** RH_{max} для обнаружения теплого слоя, необходимого для таяния твердых осадков;

(3) Pr - **скорость выпадения осадков**;

(4) P_{cold} - **изобарическая поверхность** между теплым и холодным слоями.

Последний, в сочетании P_{surf} , позволяет рассчитать **глубину**

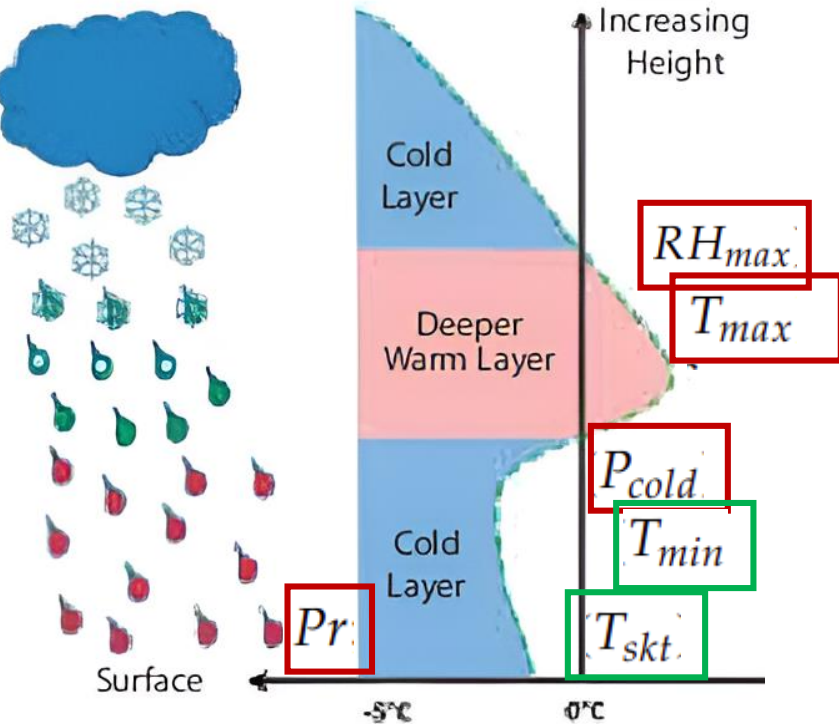
$$\text{ХОЛОДН} \quad H_{cold} = P_{surf} - P_{cold}$$



Диагностический метод - модификации



Freezing rain



Предложенные модификации **диагностического метода** включают:

- **SKTA**: использование температуры поверхности Земли (T_{skt}) вместо T_{2m} ;
- **TCLA**: включение минимальной температуры (T_{min}) в холодном слое под слоем таяния.
- **ENSA**: Применение ансамблевого подхода - алгоритм большинства голосов Бойера-Мура объединяет результаты классификации **T2MA**, **SKTA** и **TCLA** .

Калибровка алгоритмов



Таблица сопряжённости признаков

2 x 2 Contingency Table		FZRA Observed	
		True	False
FZRA Detection Algorithm	True	a	b
	False	c	d

$$CSI = \frac{a}{a + b + c}$$

$$R_{cal} = CSI - |\log(Bias)|$$

$$(Bias = (a + b) / (a + c))$$

Калибровка выполнена с помощью итеративной оценки всех **комбинаций пороговых значений** параметров с достаточной степенью детализации — приблизительно **1 124 000 циклов**. В качестве метрики эффективности алгоритма использовался **критический индекс успешности (CSI)**. Калибровка алгоритмов выполнена для 14 случайно выбранных холодных сезонов

Калибровка алгоритмов



Algorithms	T_{melt}^{thr} (°C)	T_{cold}^{thr} (°C)	H_{cold}^{thr} (hPa)	$T_{t2m}^{thr} / T_{skt}^{thr}$ (°C)	Pr^{thr} (mm/h)	RH^{thr} (%)
T2MA	1.4	–	108	0.33	0.02	85
SKTA	1.3	–	112	-0.16	0.01	88
TCLA	1.3	-1.4	27	–	0.02	84
FMIK	-0.64	–	69	0.09	0.065	89 FMI*

Сравнение калиброванных пороговых значений выбранных переменных окружающей среды для трех алгоритмов обнаружения замерзающих осадков (T2MA, SKTA, TCLA)

Верификация алгоритмов



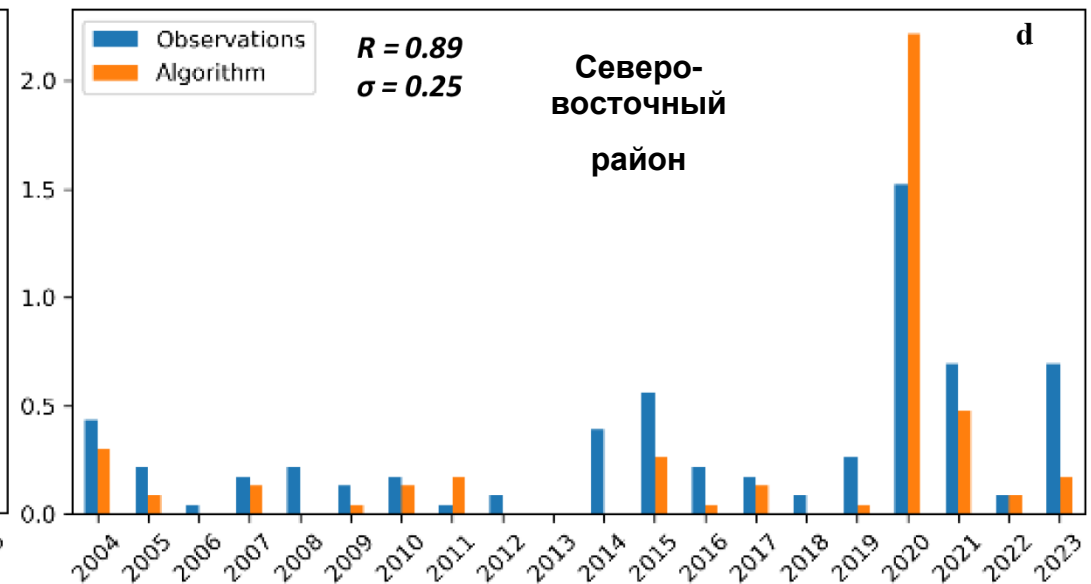
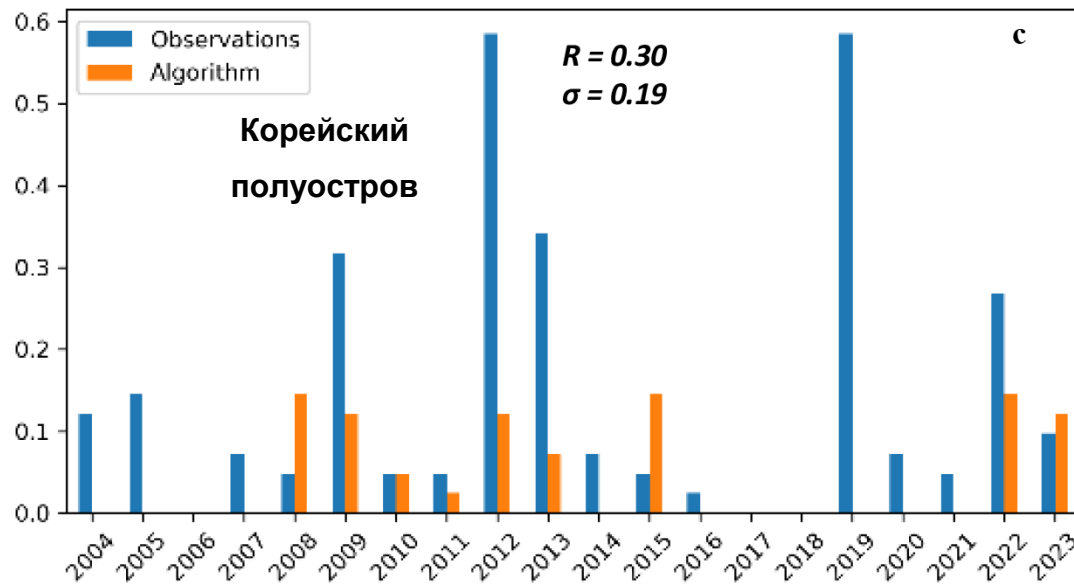
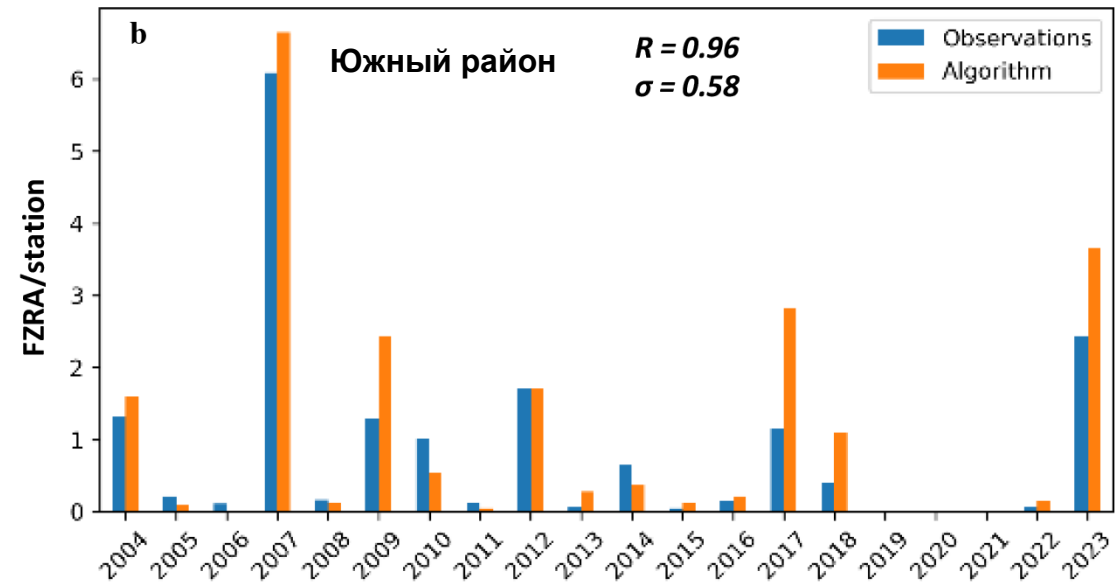
Verification statistics	T2MA	SKTA	TCLA	ENSA	FMIK	ERA5
CSI	0.133 ± 0.045	0.117 ± 0.038	0.135 ± 0.042	0.136 ± 0.044	0.112 ± 0.027	0.082 ± 0.030
HSS	0.232 ± 0.073	0.208 ± 0.062	0.235 ± 0.067	0.237 ± 0.071	0.200 ± 0.045	0.151 ± 0.051
POD (%)	22 ± 8	21 ± 7	22 ± 7	22 ± 8	28 ± 7	23 ± 8
SR	0.247 ± 0.064	0.208 ± 0.058	0.257 ± 0.059	0.266 ± 0.061	0.159 ± 0.037	0.113 ± 0.040
Bias	0.89 ± 0.19	1.01 ± 0.21	0.84 ± 0.15	0.80 ± 0.18	1.76 ± 0.36	2.11 ± 0.40

Кросс-валидация шести алгоритмов обнаружения замерзающих осадков с использованием независимого массива метеорологических наблюдений за 6 холодных сезонов

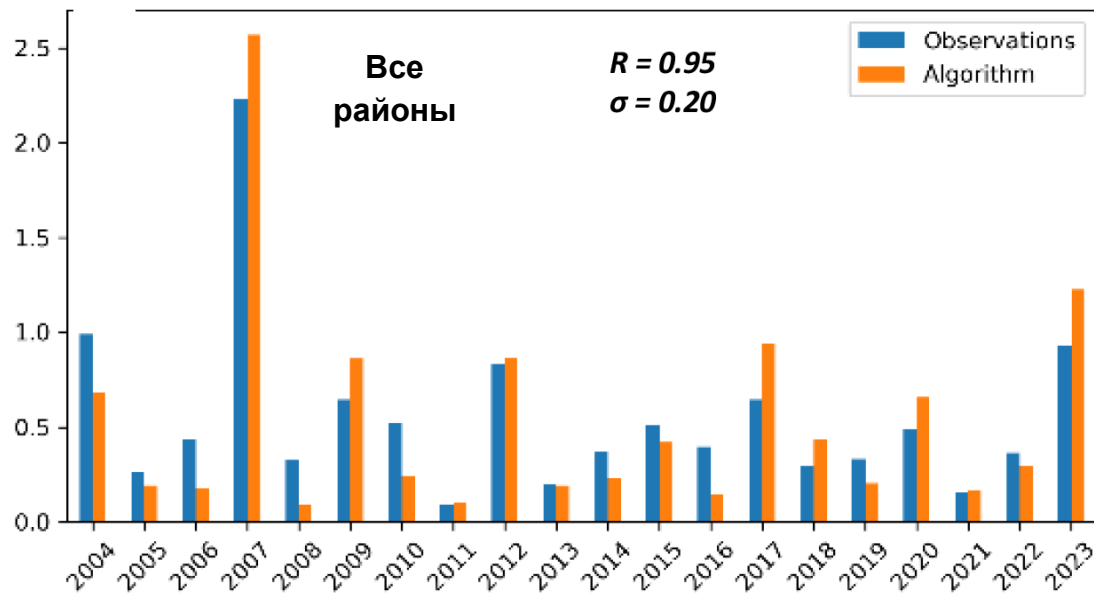
Апробация – межгодовая изменчивость



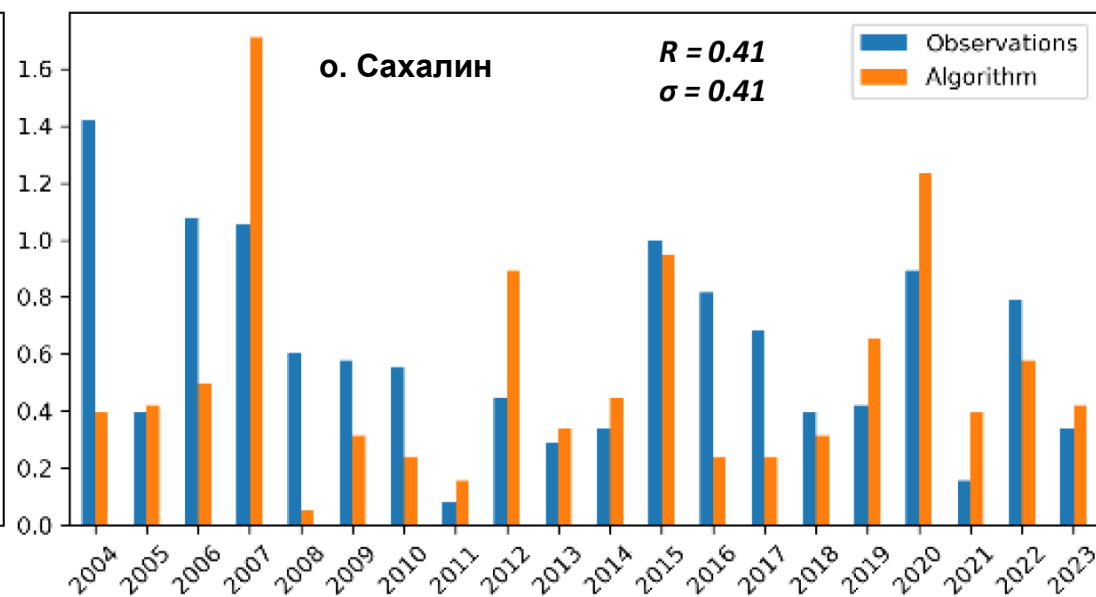
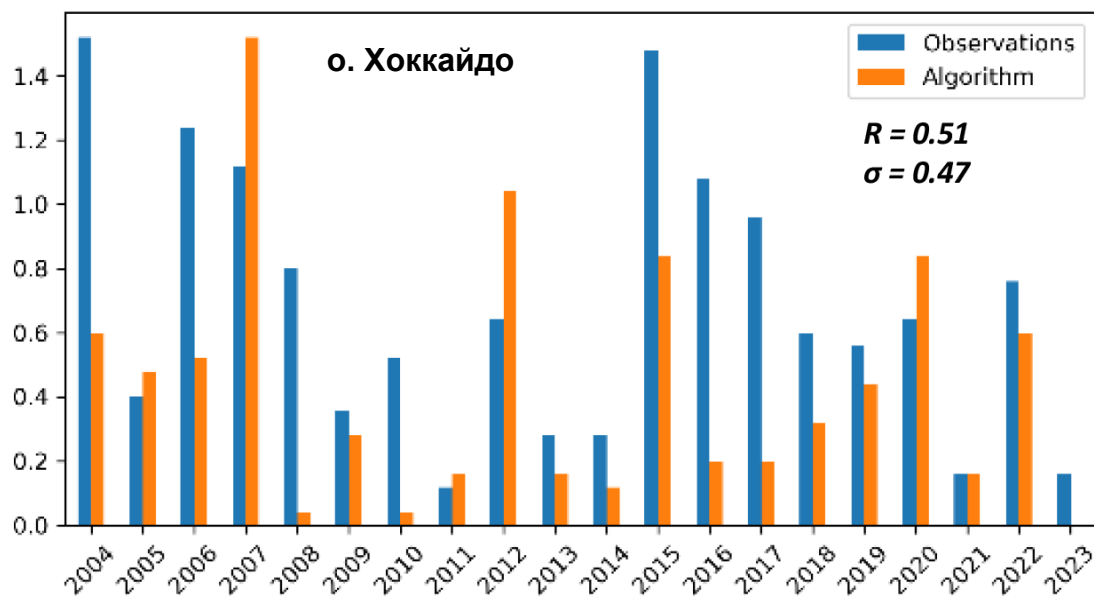
**Межгодовая изменчивость
повторяемости замерзающих
осадков на основе наблюдений
метеостанций (синий) и алгоритма
(оранжевый)**



Апробация – межгодовая изменчивость



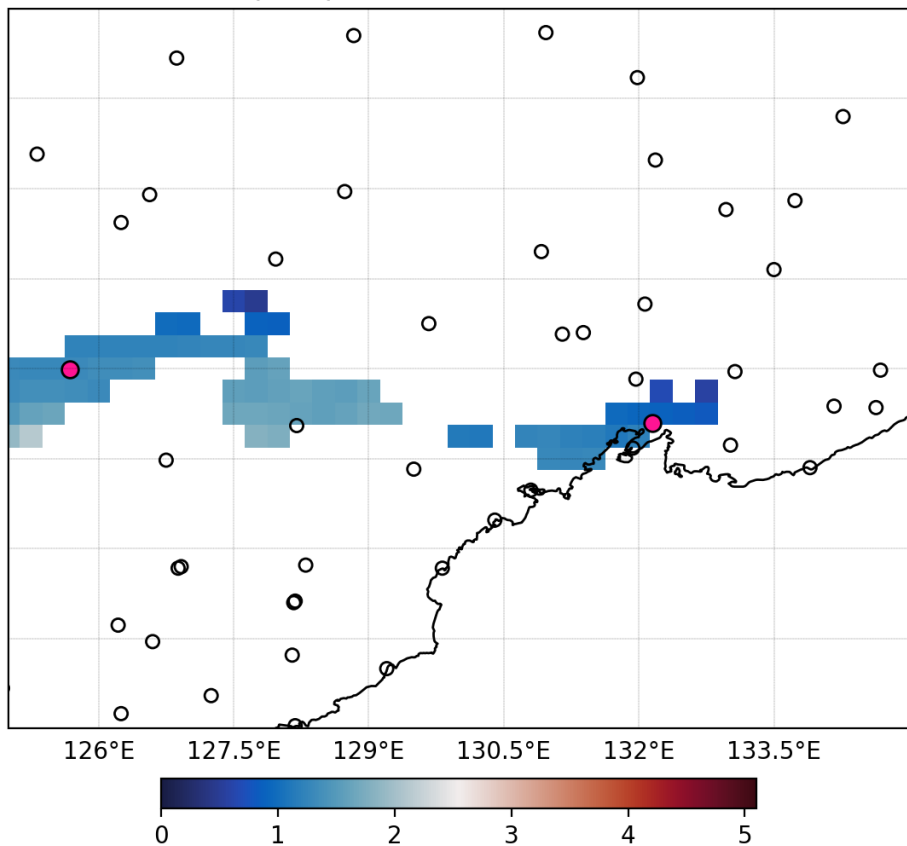
	All areas		
	R	R^2	σ
T2MA	.93	.72	0.24
SKTA	.95	.80	0.20
TCLA	.92	.72	0.24
ENSA	.93	.70	0.25
FMIK	.86	.23	0.40
ERA5	.89	-0.30	0.52



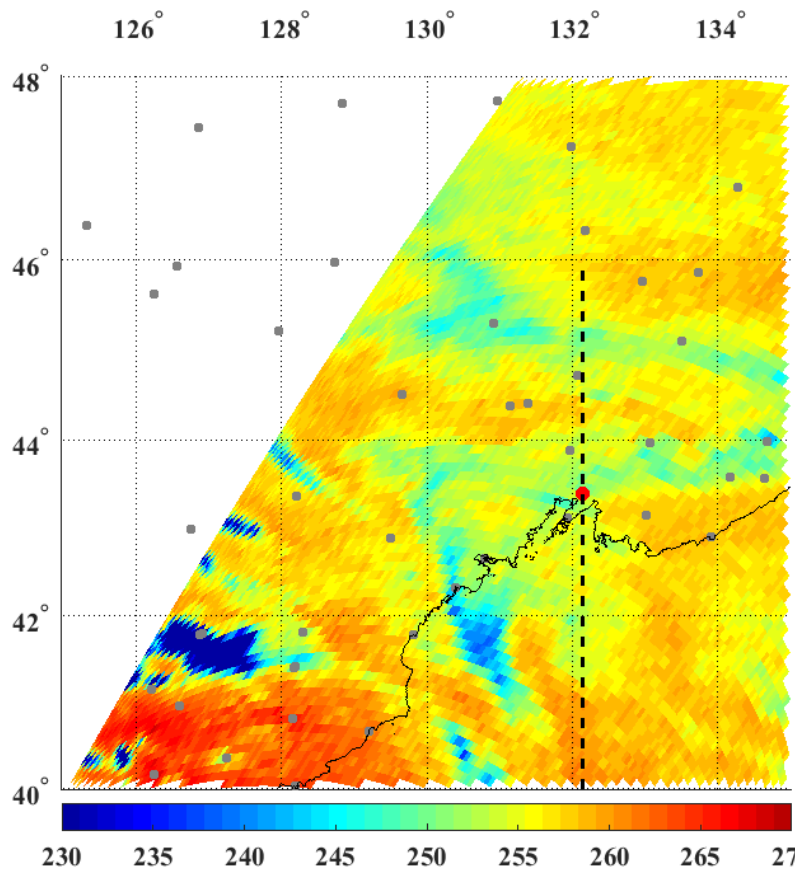
Апробация – алгоритм и GMI



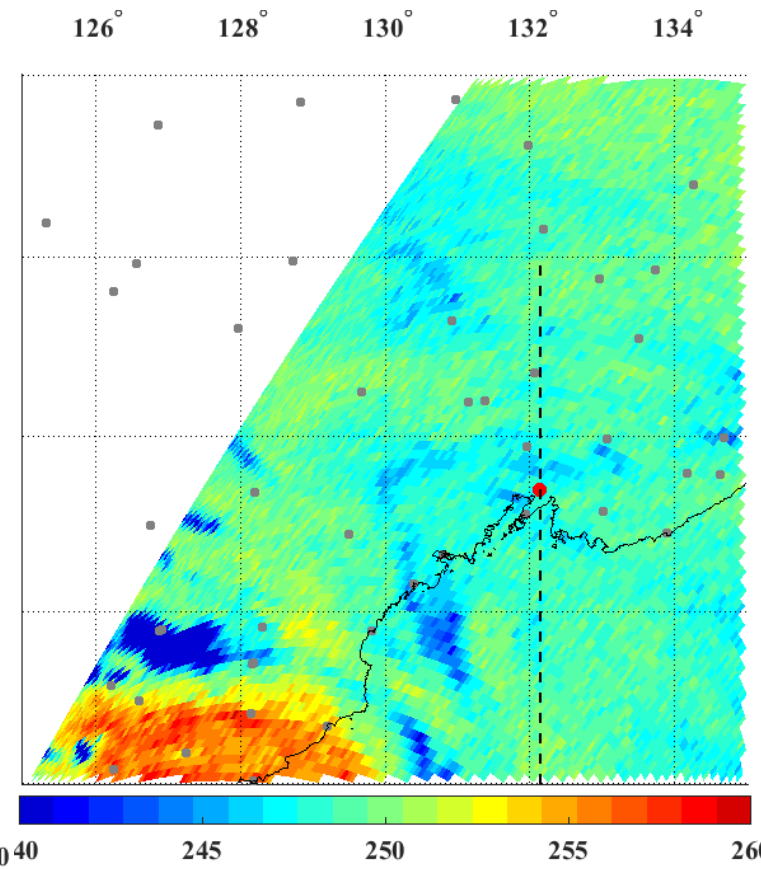
Total precipitation (mm/h) in FZRA area



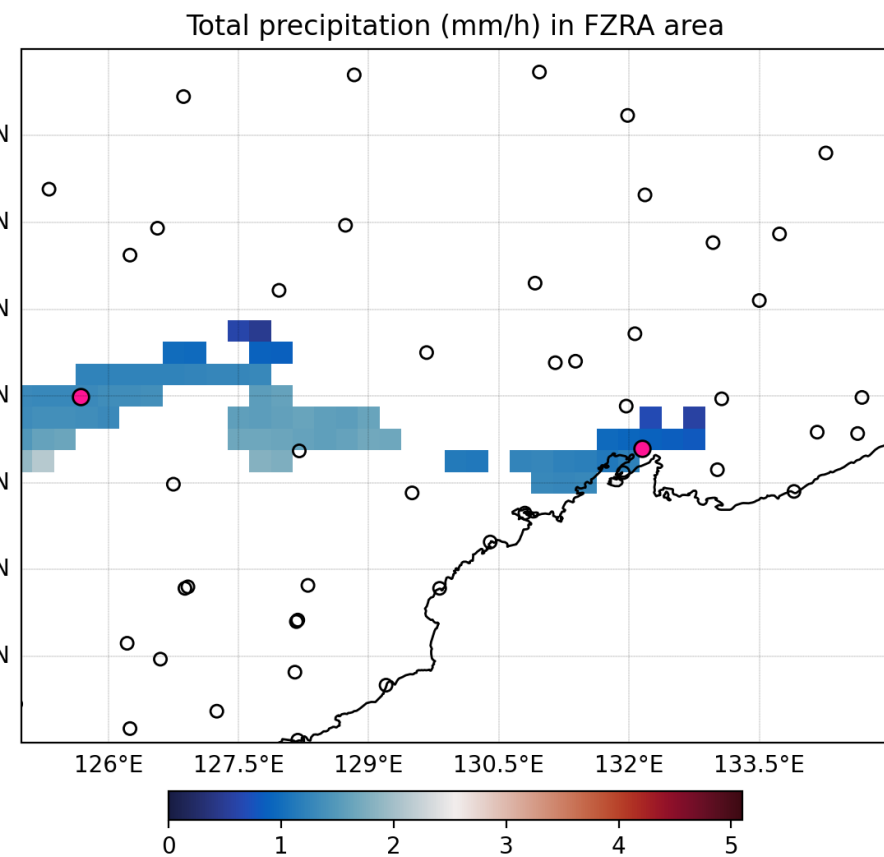
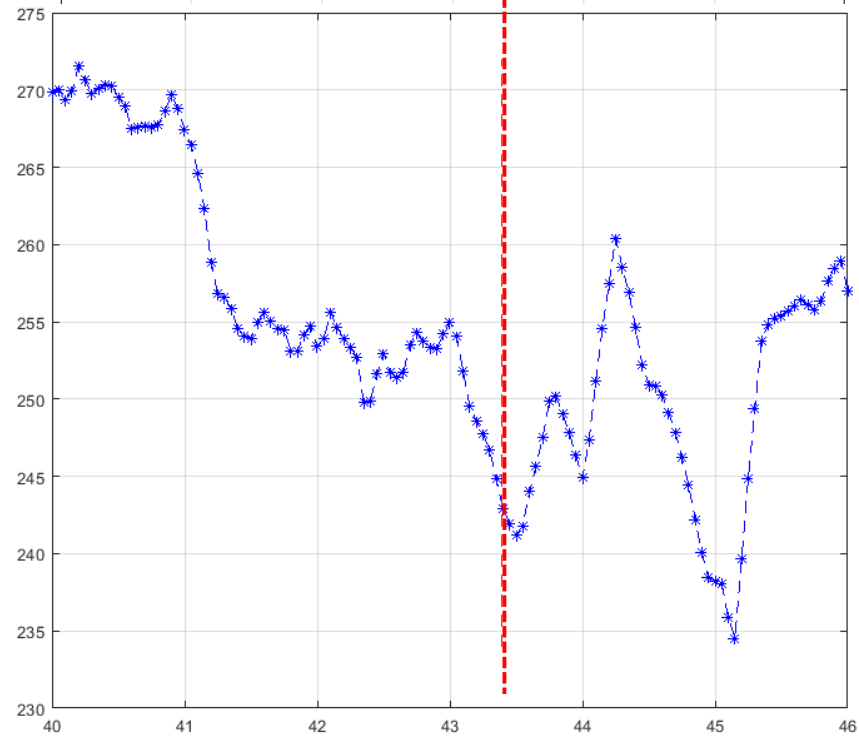
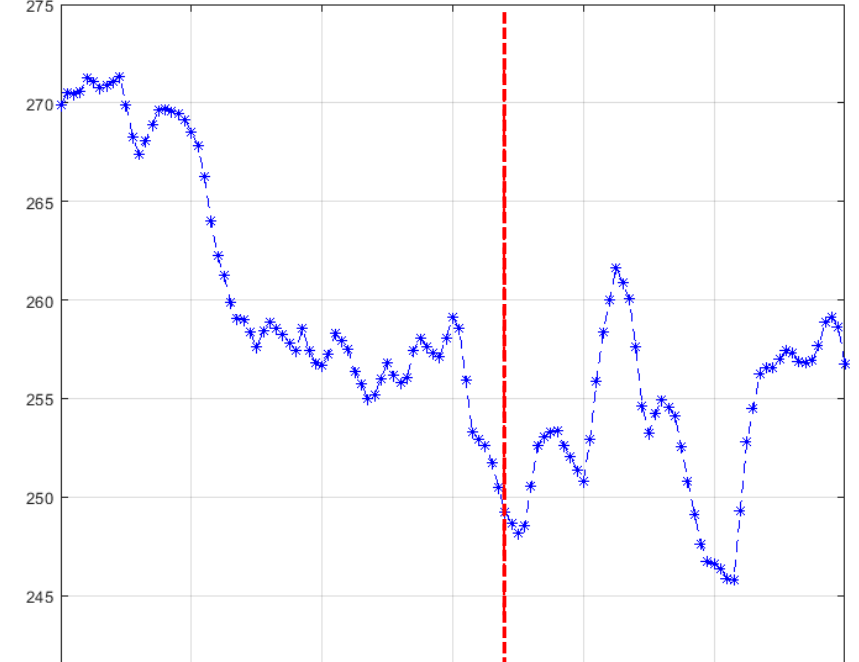
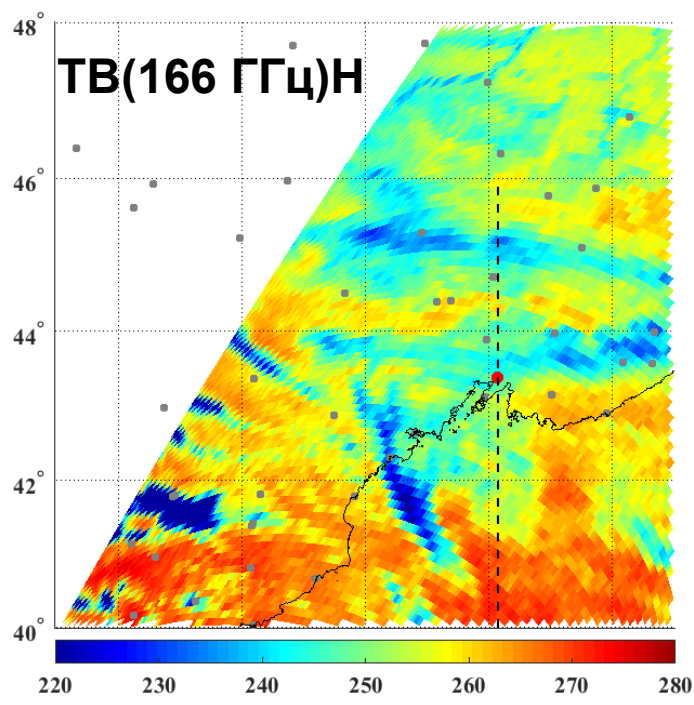
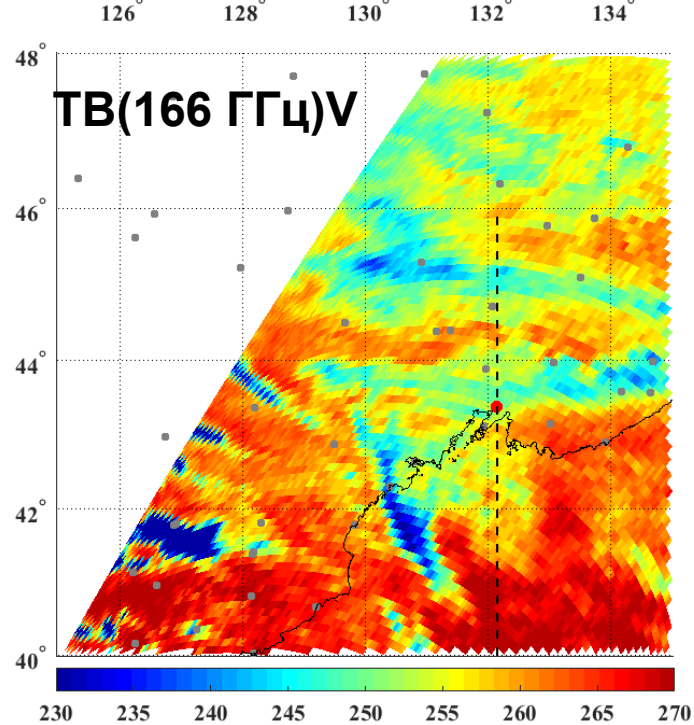
Скорость выпадения (мм/ч) в
зоне замерзающих осадков, по
алгоритму (ENSA); 12:00,
18/11/2020



TB(183.3 ± 7 ГГц) from GMI
at 12:10, 18/11/2020

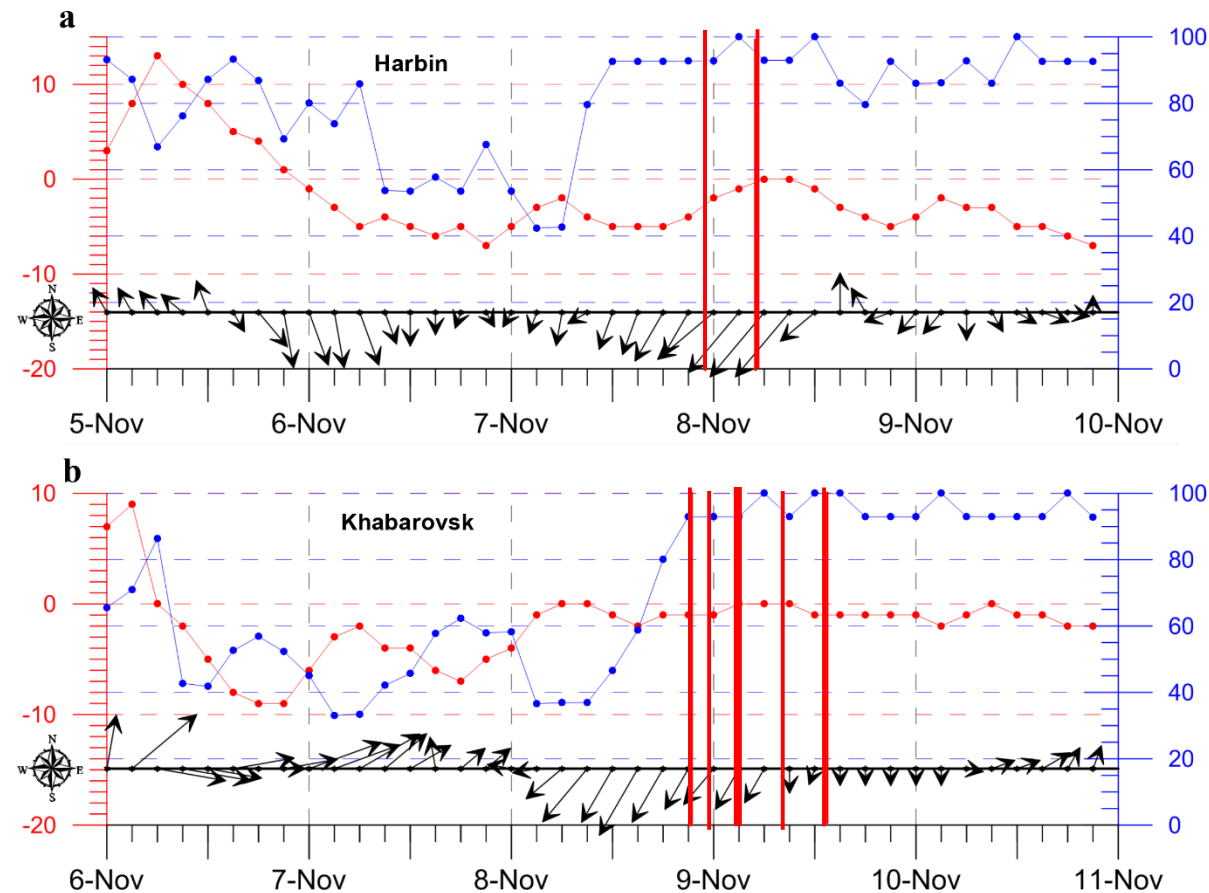
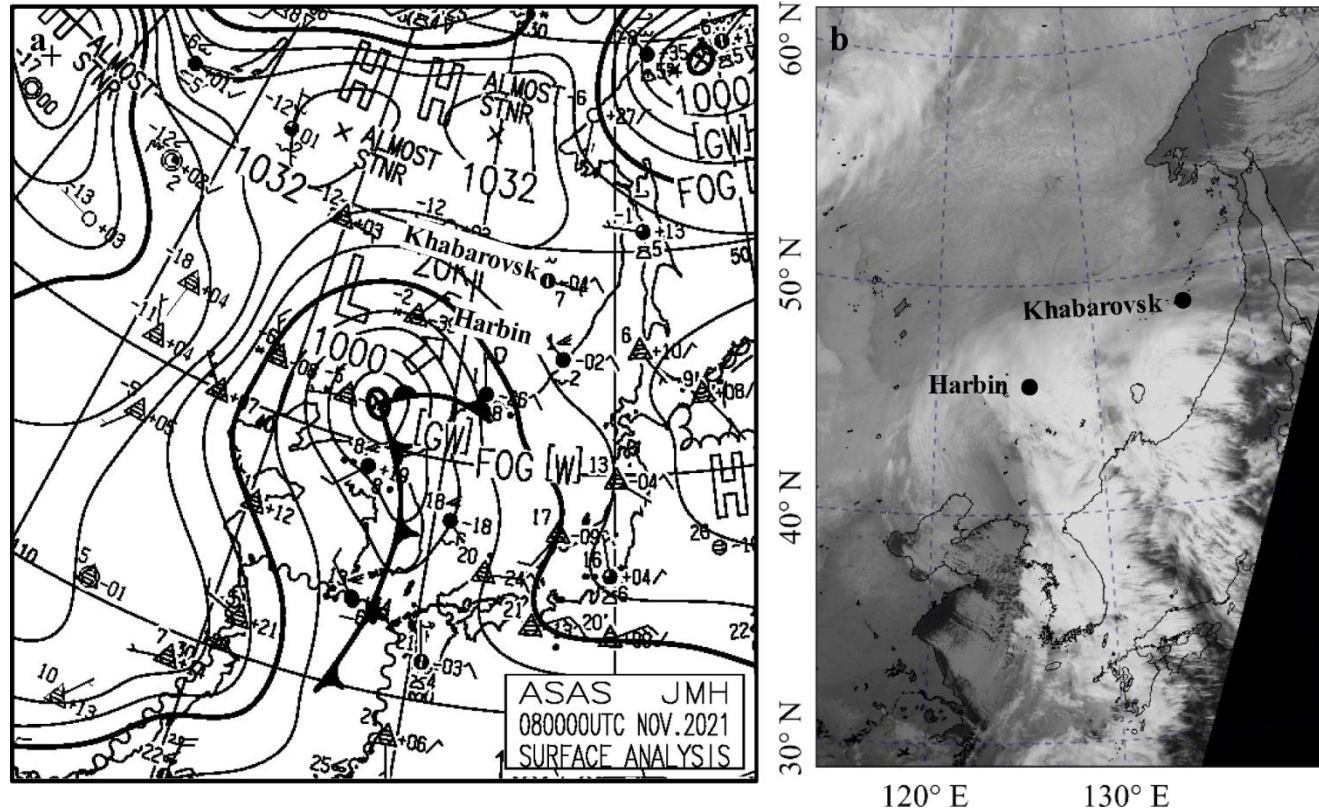


TB(183.3 ± 3 ГГц) from GMI
at 12:10, 18/11/2020



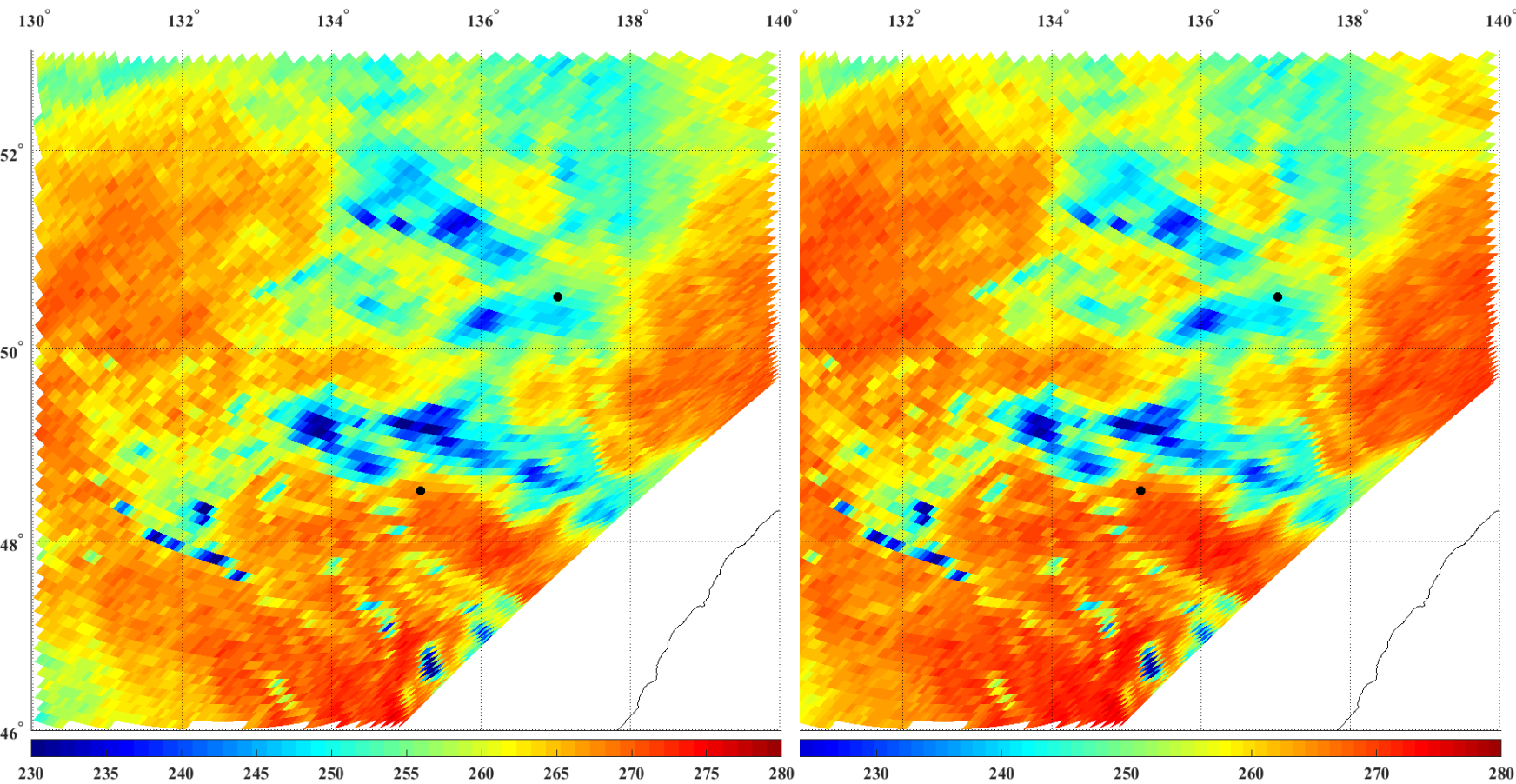
**Скорость выпадения (мм/ч) в
зоне замерзающих осадков, по
алгоритму (ENSA); 12:00,
18/11/2020**

Апробация – случай замерзающего дождя



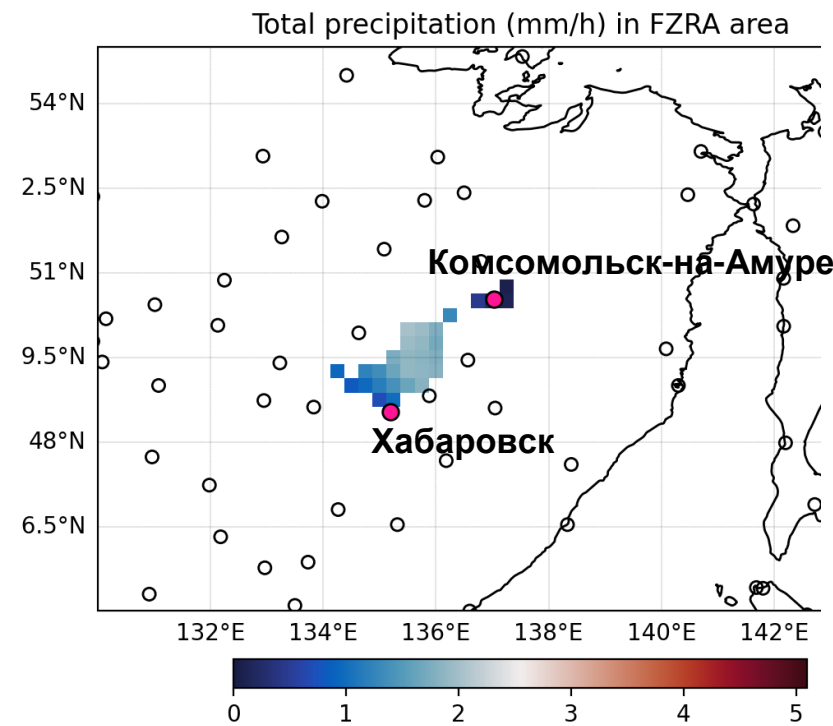
(a)- Карта приземного анализа ЖМА в 00:00 UTC; (b) - инфракрасное изображение облачной системы циклона, AVHRR (MetOp-B) в 01:25 UTC 8 ноября 2021 г.

Апробация – алгоритм и GMI



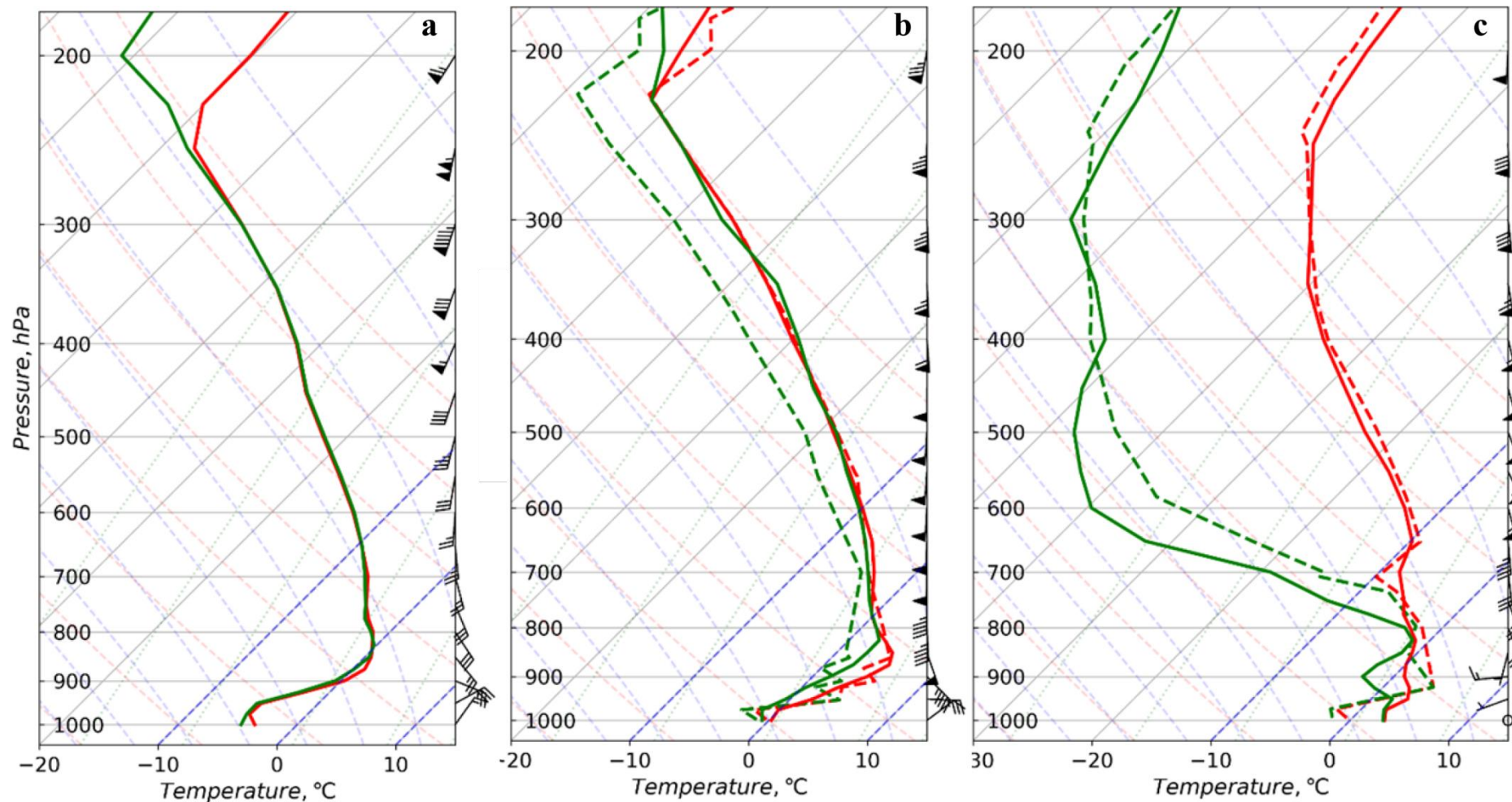
**ТВ(166 ГГц)V, GMI - 05:30,
09/11/2021**

**ТВ(166 ГГц)H, GMI - 05:30,
09/11/2021**



**Скорость выпадения (мм/ч) в зоне
замерзающих осадков, по
алгоритму (ENSA), 06:00, 09/11/2021**

Апробация – случай замерзающего дождя



Вертикальные профили температуры воздуха (красный) и точки росы (зеленый) по данным ERA5 (сплошные линии) и аэрологического зондирования (пунктирные линии) в: (a) - 00 UTC и (b) - 23 UTC 8 ноября, Харбин; (c) - 12 UTC 9 ноября 2022, Хабаровск



Выводы и обсуждение

Предложены и откалиброваны диагностические алгоритмы обнаружения замерзающих осадков в дальневосточном регионе с использованием данных реанализа ERA5 и метеорологических наблюдений

Сформирован архив событий замерзающих осадков на Дальнем Востоке за 20 холодных сезонов с 2004 по 2024 гг.

Верификация предложенных алгоритмов показала значительные улучшения в точности идентификации замерзающих осадков по сравнению с оригинальным методом FMI (21%) и стандартной классификации типов осадков ERA5 (66%)

Модифицированные алгоритмы успешно воспроизводят межгодовую изменчивость средней частоты замерзающих осадков для выбранных участков в континентальной (коэффициент корреляции - 0.93) и прибрежной зонах (0.54), включая острова Сахалин и Хоккайдо.

**Благодарю за
внимание!**

