



ИБРАЭ

# **Оценка вклада механизма Халлетта – Моссопа в процессы электризации гидрометеоров в кучево-дождевых облаках**

*Инна Губенко ([img0504@yandex.ru](mailto:img0504@yandex.ru))*

*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики  
Российской Академии Наук (ИБРАЭ РАН)*

## Цель и задачи работы:

Сравнение результатов моделирования, полученных с помощью разных версий модели электризации: учитывающая только безындукционный механизм заряжения, безындукционный и индукционный, а также версия с добавлением электризации при обзёрнении Халлетта-Моссопа для чего выполнены следующие задачи:

- Расчеты прогнозов гроз с помощью модели электризации, входными данными которой являются профили метеорологических величин, полученные WRF-ARW.
- Анализ электрической и микрофизической структур конвективных облаков.
- Валидация результатов расчета молниевых разрядов на данных синоптики, а также сетей Worldwide Lightning Location Network (WWLLN), Total Lightning Network (TLN), Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова (ГГО) и Высокогорного геофизического института (ВГИ).

# Совершенствование модели электризации Св. Добавление схемы электризации при обзернении

## Обобщенная модели электризации Св

### Входные данные:

1. Вертикальные профили стандартных метеорологических величин, водности облака и ледности гидрометеоров

### Блок расчета генерации зарядов:

1. Расчет скорости гравитационного оседания частиц
2. Расчет скорости турбулентной коагуляции
3. Расчет величины заряда, получаемого за одно соударение
4. Расчет уравнений генерации зарядов взаимодействующих частиц

### Блок расчета разделения зарядов:

1. Расчет плотности объемных зарядов частиц
2. Расчет напряженности электрического поля атмосферы

Известно, что замерзание переохлажденных облачных капель на градинах может сопровождаться выбросом вторичных ледяных кристаллов (механизм Халлета-Моссопа), являющихся носителем заряда. Тогда зарядение с учетом этих процессов можно описать как [Довгалюк и др., 2013]. :

$$S = \frac{P_{\text{обз}}}{Q_c} \times p_{\text{slp}} \times N_c \times \psi \times D^{2.4},$$

Где  $S$  – Заряд при обзернении,  $P_{\text{обз}}$  – интенсивность обзернения, рассчитанная по формуле ниже,  $Q_c$  – влагосодержание облачных капель,  $p_{\text{slp}}$  – давление на уровне моря;  $N_c$  – концентрация облачных капель,  $\psi$  – эмпирический коэффициент, равный  $0.9 \times 10^{-5} \text{ Кл}\cdot\text{м}^{-2.4}$  [Mosso, 1985],  $D$  – диаметр облачных капель.

$$P_{\text{обз}} = \frac{\pi}{4} \times Q_c \times N_i \times E_{i,c} (1 - S_{i,c}) (D_i + D_c)^2 |V_i - V_c|,$$

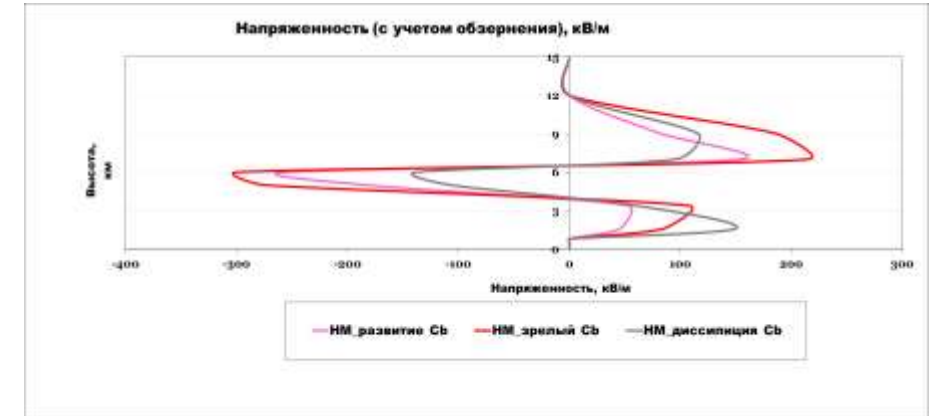
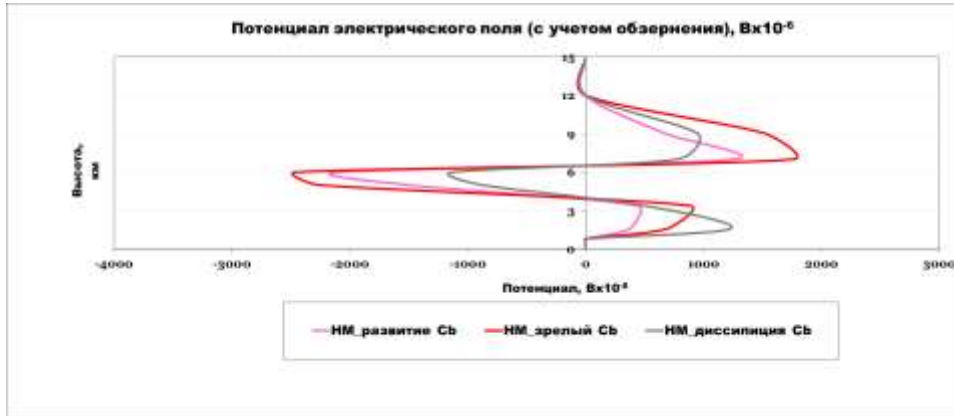
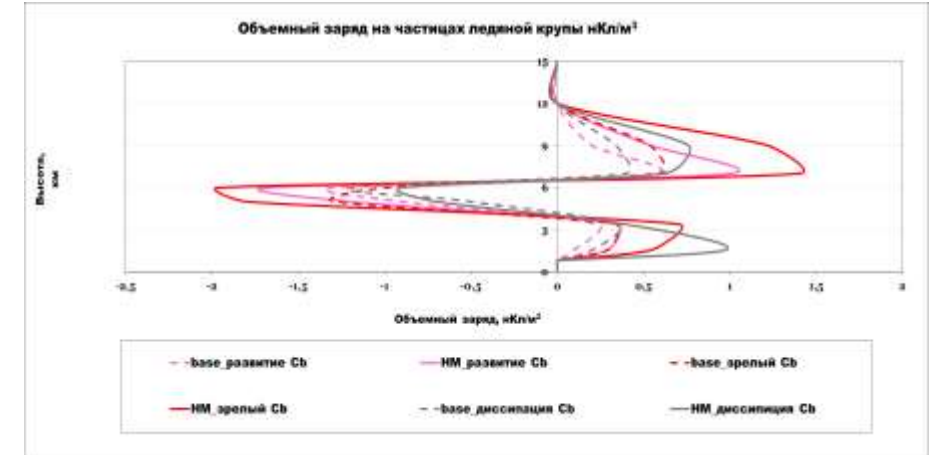
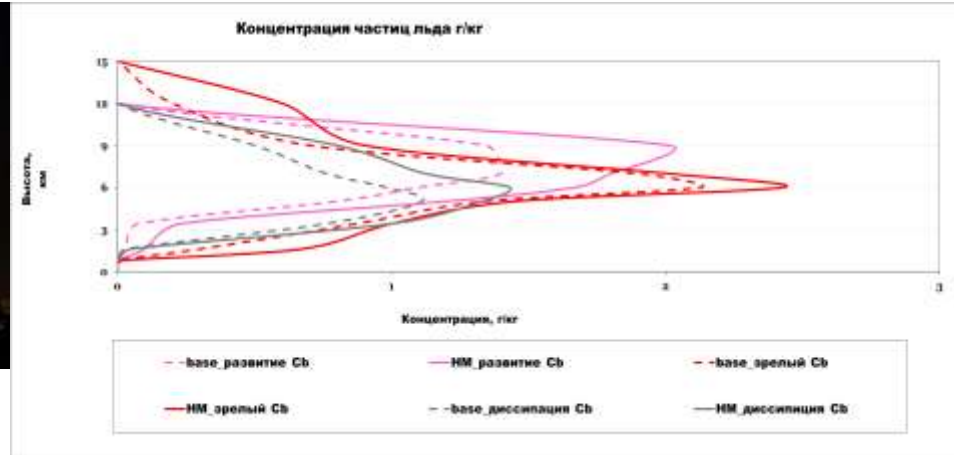
Где  $N_i$  – концентрация ледяных частиц,  $E_{i,c}$ ;  $S_{i,c}$  коэффициенты слияния и отскока частиц соответственно при взаимодействии облачных частиц и ледяных кристаллов [Довгалюк и др., 2013],  $V$ -скорости гравитационного оседания ледяных частиц и облачных капель. соответственно.

# Результаты моделирования случаев интенсивной конвекции:



1. Пермский край,  
19-20 июля 2019 г.

Фото:<https://59.ru/text/summer/2019/07/20/66167842/>



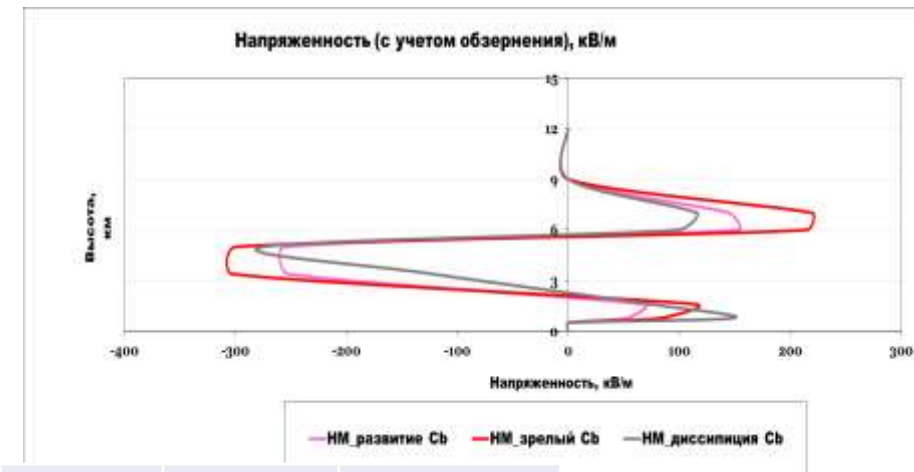
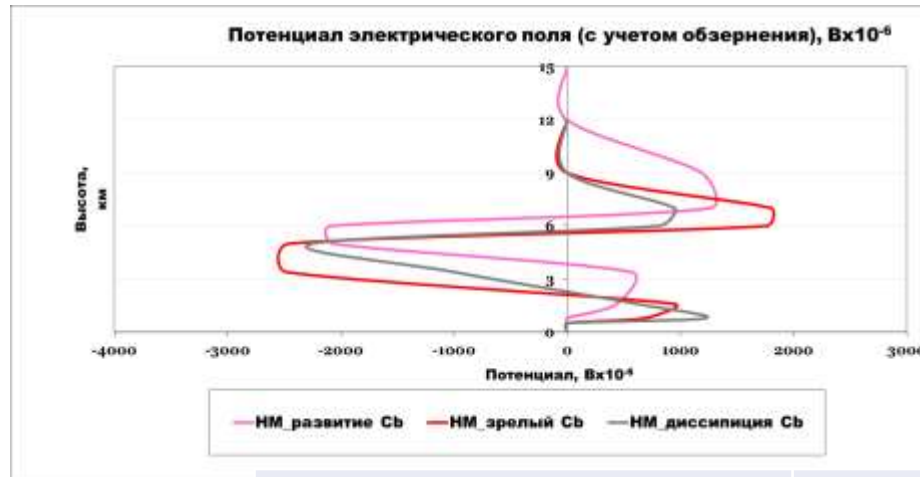
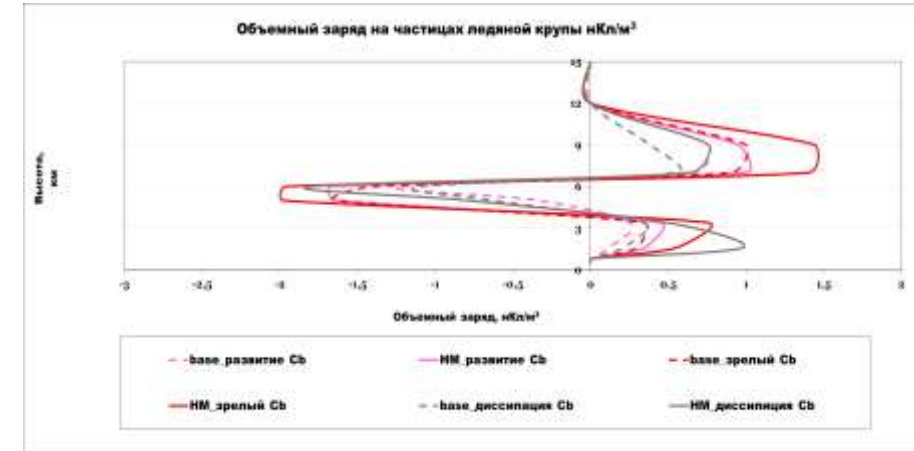
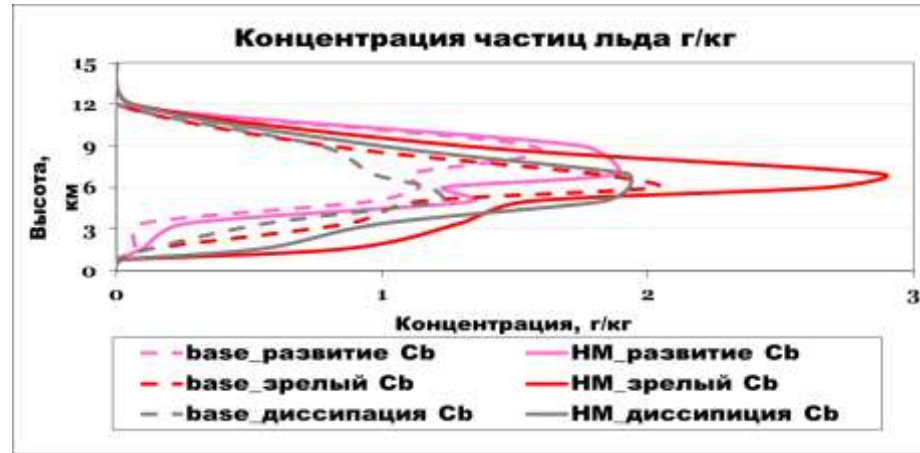
Х-ка качества прогноза	неинд	Инд	неинд+инд	неинд+инд+НИМ
общая оправдываемость U	97%	94%	96%	100%
оправдываемость наличия UI	82%	87%	88%	96%
предупрежденность наличия PI	55%	59%	60%	65%
ложные тревоги FA	18%	13%	12%	4%
пропуск явления M	45%	41%	40%	35%
ПИРСИ-ОБУХОВ T	0,30	0,39	0,42	0,55
Критерий Гилберта ETS	35%	29%	31%	36%
Критерий Багрова Хайдке	0,22	0,19	0,20	0,22

# Результаты моделирования случаев интенсивной конвекции:



2. Москва и Подмосковье,  
7 июля 2020 г.

Фото: <https://www.msk.kp.ru/daily/27153.3/4249141/>



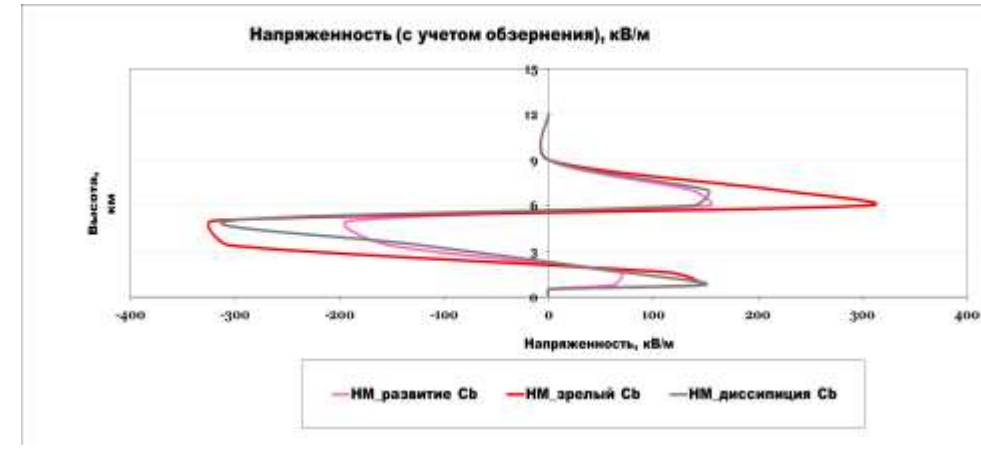
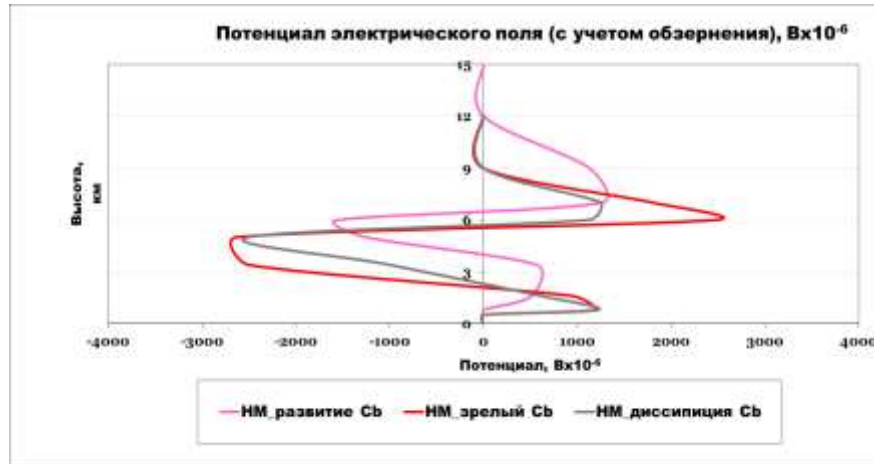
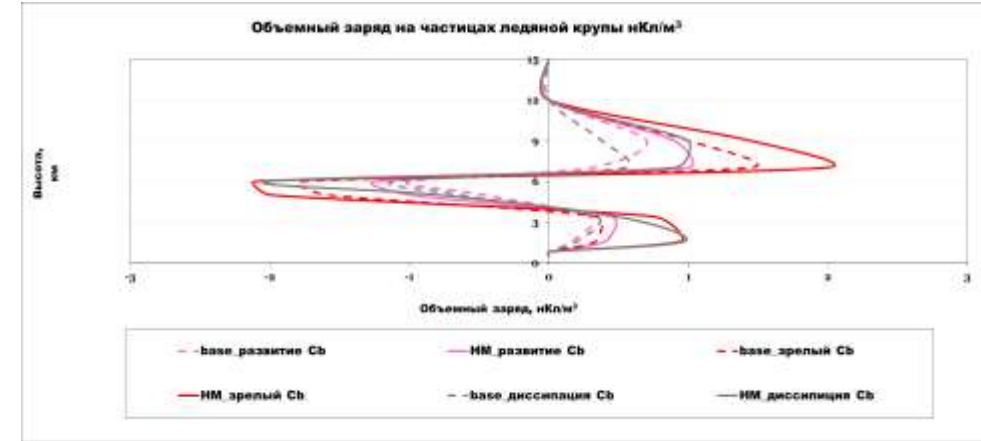
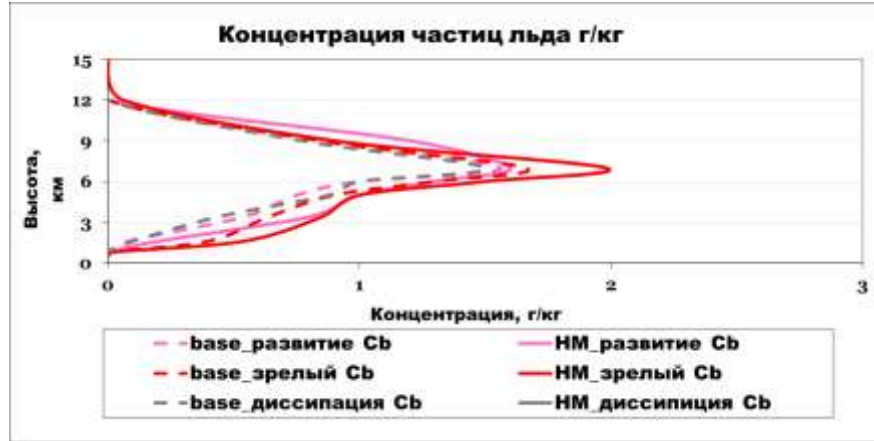
Х-ка качества прогноза	неинд	Инд	неинд+инд	неинд+инд+NM
общая оправдываемость U	95%	95%	95%	96%
оправдываемость наличия UI	58%	56%	57%	59%
предупрежденность наличия PI	90%	87%	88%	91%
ложные тревоги FA	42%	44%	43%	41%
пропуск явления M	10%	13%	12%	9%
ПИРСИ-ОБУХОВ T	0,58	0,55	0,56	0,59
Критерий Гилберта ETS	52%	49%	49%	53%
Критерий Багрова Хайдке	0,34	0,33	0,33	0,35

# Результаты моделирования случаев интенсивной конвекции:



3. Орел, Липецк, Рязань, юго-восток Подмосковья, 21 августа 2021 г.

Фото: <https://dzen.ru/a/YsL5DsuWdTOv73kW>



Х-ка качества прогноза	неинд	Инд	неинд+инд	неинд+инд+НМ
общая оправдываемость U	88%	85%	90%	91%
оправдываемость наличия UI	96%	94%	97%	99%
предупрежденность наличия PI	87%	85%	89%	90%
ложные тревоги FA	4%	6%	3%	1%
пропуск явления M	13%	15%	11%	10%
Пирси-Обухов T	0,70	0,63	0,74	0,80
Критерий Гилберта ETS	58%	49%	62%	70%
Критерий Багрова Хайдке	0,37	0,33	0,38	0,41

## Заключение:

- Добавление схемы заряжения процесса Халлета-Моссоба при обзёрнении в облаке позволяет несколько улучшить прогноз гроз, так как учет механизма в модели электризации ведет к увеличению неиндуктивного заряда между частицами, что, в свою очередь, связано с ростом концентрации частиц льда-носителей заряда. Это, соответственно, позволяет увеличить оправдываемость гроз (в сравнении с версиями модели, когда учитывается безындукционная схема или при добавлении к ней индукционной без учета процессов Халлетта-Моссоба).
- Профили объемных зарядов, рассчитанных с учетом процессов обзёрнения, имеют трипольную структуру.

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда  
№ 24-77-00005, <https://rscf.ru/project/24-77-00005/>.**