

## ПРОГНОЗ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ЮГЕ РОССИИ

И.М. Губенко

Институт безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия  
img0504@yandex.ru

## FORECAST OF THUNDERSTORM ACTIVITY OVER SOUTHERN RUSSIA

I.M. Gubenko

Nuclear Safety Institute of RAS, Moscow, Russia  
img0504@yandex.ru

**Аннотация.** В докладе представлены результаты моделирования некоторых отдельных эпизодов конвективных штормов над территорией юга России с 2013–2017 гг. Рассчитаны прогнозы грозовой активности с помощью усовершенствованной модели электризации кучево-дождевых облаков на основе данных модели прогноза погоды WRF-ARW. Представлены уравнения модели, обсуждены основные усовершенствования ее основных блоков, демонстрируются карты прогнозов гроз, графики вертикальных профилей напряженности электрического поля атмосферы, плотности объемных зарядов, а также приводятся оценки качества прогнозов, валидированные на данных сетей WWLLN, ВГИ и синоптических станций. Выполнен климатический анализ фактических грозовых очагов по данным синоптической сети и сети грозопеленгации.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ А 19-05-00047 и мол\_a 18-35-00044.

**Ключевые слова:** грозы, конвекция, WWLLN, WRF-ARW, юг России.

**Abstract.** The report presents the simulation results of case studies of severe weather events observed over the territory of southern Russia from 2013–2017. Thunderstorm activity predictions were calculated using an improved Cb electrification model based on the WRF-ARW weather outcomes. The model equations are presented, the main improvements of its main blocks are discussed, maps of thunderstorm forecasts, graphs of vertical profiles of the atmospheric electric field intensity, space charge density are shown, and estimates of the quality of forecasts validated on WWLLN, VGI and synoptic stations data are provided. A climatic analysis of the thunderstorms gathered from synoptic and lightning location networks has been performed.

The work was carried out with the partial support of the RFBR: grant A 19-05-00047 and mol\_a 18-35-00044.

**Keywords:** thunderstorms, convection, WWLLN, WRF-ARW, South of Russia.

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что одной из важнейших и социально значимых задач современной гидрометеорологии является прогноз опасных явлений погоды. В особенности, это касается опасных явлений, имеющих конвективную природу образования — гроз, шквалов, ливней, града и др., поскольку в последнее время в связи с изменением климата, их частота и интенсивность резко увеличились.

Несмотря на очевидную важность точного прогноза конвекции для населения и отраслей экономики, надежных методов ее прогноза не существует. Это отчасти связано с недостаточной полнотой знаний о физических процессах образования конвективной облачности, а также с трудностью их математической формализации и внедрением описания соответствующих процедур в модели прогноза погоды.

До недавнего времени одним из методов прогноза гроз были индексы неустойчивости атмосферы, однако они основаны лишь на учете конвективных процессов в атмосфере, и не учитывают при этом электрических, вносящих очевидный существенный вклад в образование кучевой облачности — основной причины конвекции. Отчасти по этой причине, прогноз гроз, построенный по такому принципу, дает высокое значение ложных тревог. На смену им приходят методики, основанные на явном моделировании процессов атмосферного электричества — так называемые модели электризации.

### МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В работе представлены результаты моделирования некоторых отдельных эпизодов конвективных штормов над территорией юга России с 2013–2017 гг. Эксперименты были проведены с помощью усовершенствованной модели электризации, явно учитывающей процессы генерации и разделения электрических зарядов в атмосфере. Основными носителями заряда являются частицы льда, снега и ледяной крупы, массовая доля которых рассчитывается в прогнозах мезомасштабной модели атмосферы WRF-ARW (Weather research and forecast) [Skamaroch et al., 2008]. Разработанная ранее автором модель электризации существенно модернизирована. В блоке электрических процессов для расчета безындукционного заряжения гидрометеоров используется схема Riming Rate Scheme (RR) [Mancell et al., 1997], а также включено описание нейтрализации электрических зарядов, что позволяет учесть быстрые изменения электрического поля, обусловленные прохождением молниевых зарядов. В блок микрофизики гидрометеоров добавлена схема описания влияния электрических сил на скорость падения облачных частиц, и, как следствие, на распределении водности облака, что позволяет уточнить скорость пространственного разделения зарядов и формирование электрического поля.

Для валидации прогнозов и климатического анализа использованы данные синоптических сетей, а

также сетей гронопеленгации -WWLLN (Worldwide Lightning Location Network) и Высокогорного геофизического института [Lay, 2008; Аджиев и др., 2013].

### АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ результатов моделирования включает изучение пространственно-временных закономерностей электрической (плотности объемных зарядов, напряженности и потенциала электрического поля атмосферы) и микрофизической (массовых долей твердых и жидких частиц, водности облака, вертикальной составляющей вектора скорости, скоростей гравитационного оседания частиц) структур конвективных облаков и облачных систем на разных стадиях жизни — от начала заряжения до грозовой стадии, а также их взаимное влияние. Кроме того, исследуется возможность установления пороговых значений для инициирования молниевых разрядов электрических и микрофизических характеристик конвективных облаков и облачных систем. Рассчитанные молниевые разряды валидированы на данных гронопеленгации WWLLN и ВГИ. Такая оценка прогноза успешности прогноза гроз включает в себя оправдываемость и предупрежденность наличия/отсутствия гроз, общую оправдываемость и критерий Пирси-Обухова [РД 52.27.284-91, 1991]. На основе этих данных выполнен климатический анализ молниевых разрядов для периода 2013–2017 гг.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что методика явного прогноза гроз обладает достаточным уровнем успешности воспроизведения опасных явлений конвекции. Усовершенствованная математическая модель электризации, позволяет прогнозировать пространственно-временную локализацию гроз, а также исследовать динамику и пространственно-временной ход электрической (напряженность, электрический потенциал, плот-

ность объемных зарядов, концентрации положительных и отрицательных ионов) и микрофизической (вертикальную скорость, ледность и водность облачной системы, скорости гравитационного оседания гидрометеоров и др.) структуры конвективных облачных систем от начального заряжения до грозовой стадии.

При проведении климатического анализа грозовых событий над территорией юга России выявлены количество дней с грозами, установлена общая продолжительность отдельно взятых грозовых событий, определены области с наибольшей грозовой активностью, изучены пространственное распределение плотности грозовых разрядов.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ А 19-05-00047 и мол\_а 18-35-00044.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аджиев А.Х., Стасенко В.Н., Тапасханов В.О. Система гронопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. 2013. № 1, С. 5–11.

РД 52.27.284-91. Руководящий документ. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов. Москва: Комитет гидрометеорологии при Кабинете Министров СССР, 1991. 149 с.

Lay E.H. Investigating lightning-to-ionosphere energy coupling based on VLF lightning propagation characterization: PhD Thesis. University of Washington. Seattle, Washington State, USA, 2008. P. 26.

Mansell E.R., Ziegler C.L., Bruning E.C. Simulated Electrification of a Small Thunderstorm with Two-Moment Bulk Microphysics // J. Atmos. Sci. 2010. V. 67, N 1. P. 171–194.

Skamaroch W.C., Klemp J.B., Dudhia J., et al. A description of the Advanced Research WRF Version3 // National Center of Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA, 2008. P. 113.