

**ИССЛЕДОВАНИЯ СИГНАТУР МОЩНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ШТОРМОВ НАД ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИЕЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ ПО ДИСТАНЦИОННЫМ ДАННЫМ**

*А.А. Спрыгин, О.В. Калмыкова, А.Е. Вязилов, С.В. Козлов, Л.Х. Ингель*  
<sup>1</sup>ФГБУ НПО «Тайфун», Росгидромет,  
Российская Федерация, Калужская область, г. Обнинск,  
e-mail: spralexandr@gmail.com

Приводятся результаты исследования диагностических признаков мощных конвективных процессов по спутниковым, радарным данным и данным сетей гронопеленгации. Анализ ряда случаев мощной организованной конвекции по Европейской территории России и прилегающих территориях, выявил достаточно частое наличие известных признаков (сигнатур) мощных конвективных процессов и опасных явлений. При этом стоит особо подчеркнуть прогностическую значимость сигнатур по отношению к времени регистрации опасных явлений у земли, что имеет практический интерес для использования в оперативной работе, наукастинге опасных явлений. В работе показаны примеры анализа выбранных случаев конвективных штормов различного типа с сигнатурами и некоторая статистика по анализу ряда случаев.

*Ключевые слова:* мощные конвективные штормы; опасные конвективные явления; сигнатура overshooting top; сигнатуры cold-U/V/ring; сигнатура lightning jump; сигнатура hook echo; сигнатура bow echo; мезомасштабная конвективная система; суперячейка; радарные данные; данные гронопеленгации; спутниковые данные MSG; наукастинг.

**STUDIES OF SIGNATURES OF SEVERE CONVECTIVE STORMS OVER THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA AND ADJACENT TERRITORIES BY REMOTE DATA**

*A.A. Sprygin, O.V. Kalmykova, A.E. Vyazilov, S.V.Kozlov, L.Kh.Ingel.*  
<sup>1</sup>FSBI RPA “Typhoon”, Roshydromet  
Obninsk, Kaluga region, Russian Federation,  
e-mail: spralexandr@gmail.com

The results of the studies of diagnostic signs of severe convective processes based on satellite, radar and lightning detection data are presented. The analysis of a number of cases of severe organized convection across the European territory of Russia and adjacent territories revealed the fairly frequent presence of known signs (signatures) of dangerous convective processes and phenomena. At the same time, it is worth emphasizing the forecasting significance of signatures in relation to the time of registration of dangerous phenomena near the earth surface, which is of practical interest for use in operational work and nowcasting of

dangerous phenomena. The paper shows examples of analysis of selected cases of convective storms of various types with signatures and some statistics based on the analysis of a number of cases.

*Keywords:* severe convective storms; dangerous convective phenomena; overshooting top signature; cold-U/V/ring signatures; lightning jump signature; hook echo signature; bow echo signature; mesoscale convective system; supercell; radar data; lightning detection data; MSG satellite data; nowcasting.

### **Общие сведения о сигнатурах мощных конвективных процессов и организованных конвективных структур**

Мощные конвективные штормы и системы (облачные структуры глубокой конвекции различного масштаба) часто являются генераторами опасных конвективных явлений (ОКЯ). Происходящие в этих структурах интенсивные конвективные процессы иногда проявляются в виде определенных диагностических признаков (индикаторов, паттернов) – т.н. *сигнатур* интенсивной конвекции, которые изучаются рядом авторов [1-6]. Эти признаки обнаруживаются в дистанционных данных различного типа: спутниковых, радарных, грозопеленгационных и др. и, по результатам некоторых исследований [3;4;6], установлена статистическая связь наблюдаемых сигнатур с регистрацией ОКЯ. Краткое описание некоторых сигнатур представлено ниже.

*Сигнатура Overshooting Top (OT)* - куполообразный выступ над накопительной кучево-дождевого облака (или кластера /конвективной системы), определяемый по спутниковым данным [4], представляющий собой вторжение мощного устойчивого восходящего потока (иногда спирально закрученной восходящей струи – мезоциклона) через равновесный уровень, с пробоем тропопаузы в нижнюю стратосферу (рис. 1а, 2б, 3а). Штормы с ОТ довольно часто генерируют крупный град, разрушительные ветры, смерчи и сильные осадки. Регион в пределах и вблизи ОТ представляет опасность для полетов авиации.

*Сигнатуры Cold-U/V/ring* – определяемая по спутниковым данным сигнатура: *U/V-образная* либо *кольцеобразная холодная области* по контуру верхней части штормов, внутри которых заключены относительно более теплые области (рис. 1б, 3б). Данная особенность проявляется преимущественно при анализе снимков в ИК – диапазоне (чаще всего используются данные канала IR 10.8 мкм) с определенной расцветкой изображения по специально предложенной шкале [5].

*Сигнатура Lightning Jump (LJ)* – *резкое увеличение текущей частоты молниевых вспышек* по данным грозопеленгации в грозовой ячейке (рис. 1е), которые считаются по специальным алгоритмам [6]. Выявление Lightning Jumps позволяет диагностировать конвективные штормы, с которыми в краткосрочной перспективе могут быть связаны опасные явления.

Резкое увеличение частоты вспышек молнии совпадает с пульсациями в восходящем потоке шторма и обычно предшествует на десятки минут опасным погодным явлениям у земли, таким как град, смерч и сильный ветер.

*Сигнатуры Hook echo и Bow echo* – соответственно: *крючкообразный* и *дугообразный изгиб радиоэха* на радарных изображениях (рис. 1г, 1д, 2а, 3в). Первый присущ суперячейковым (СЯ) облакам [7] масштаба мезо- $\beta$  и косвенно визуализирует наличие мезоциклона (устойчивого вращающегося вертикального потока), второй – квазилинейным конвективным системам большего масштаба с наличием выраженного сдвига ветра и тылового нисходящего потока [7]. В обоих случаях такие структуры потенциально являются индикаторами угрозы опасных явлений у земли (для СЯ с *hook echo* – шквалов, смерчей и крупного града; для *bow echo* – прежде всего мощных шквалов и усилений ветра).

В России и ближнем зарубежье исследования сигнатур проводятся относительно недавно [1-3], в т.ч. их изучение ведется и коллективом авторов данной работы. В НПО «Тайфун» создана (постоянно пополняемая) специализированная база данных случаев мощной конвекции с зарегистрированными опасными явлениями по ЕТР и сопредельным территориям, с включением в т.ч. и информации о некоторых наблюдаемых сигнатурах. Это позволяет оценить как статистические показатели повторяемости, так и заблаговременности времени их регистрации по отношению к времени наблюдения опасных явлений. Также проводится анализ отдельных случаев [2], радарных характеристик штормов, расчет и оптимизация алгоритма LJ, разработка аналитических моделей конвективных струй и связей с отдельными видами сигнатур [1], а также анализ прогностических полей специальных индексов конвекции для целей краткосрочного прогноза конвективных штормов по модели WRF. Ниже представлены примеры: некоторые случаи формирования мощных конвективных структур с различными сигнатурами и опасными конвективными явлениями, принесшие ущерб, разрушения, а в некоторых случаях, и человеческие жертвы.

**1. 18.09.2022 г.: суперячейка (с *hook echo*, OT, cold-U, LJ) в Сумской области, Украина (ОКЯ: смерч силы EF3), с формированием далее квазилинейной мезомасштабной конвективной системы (КЛКС с *bow echo*) по Курской области РФ (ОКЯ: смерч и сильный шквал)**

Анализ случая 18.09.2022 г. показал наличие нескольких сигнатур у мощных конвективных структур (СЯ, КЛКС), причем большая часть сигнатур проявлялась с некоторой заблаговременностью по отношению к времени регистрации опасных явлений у земли (от 40 мин до 1 ч 20 мин).

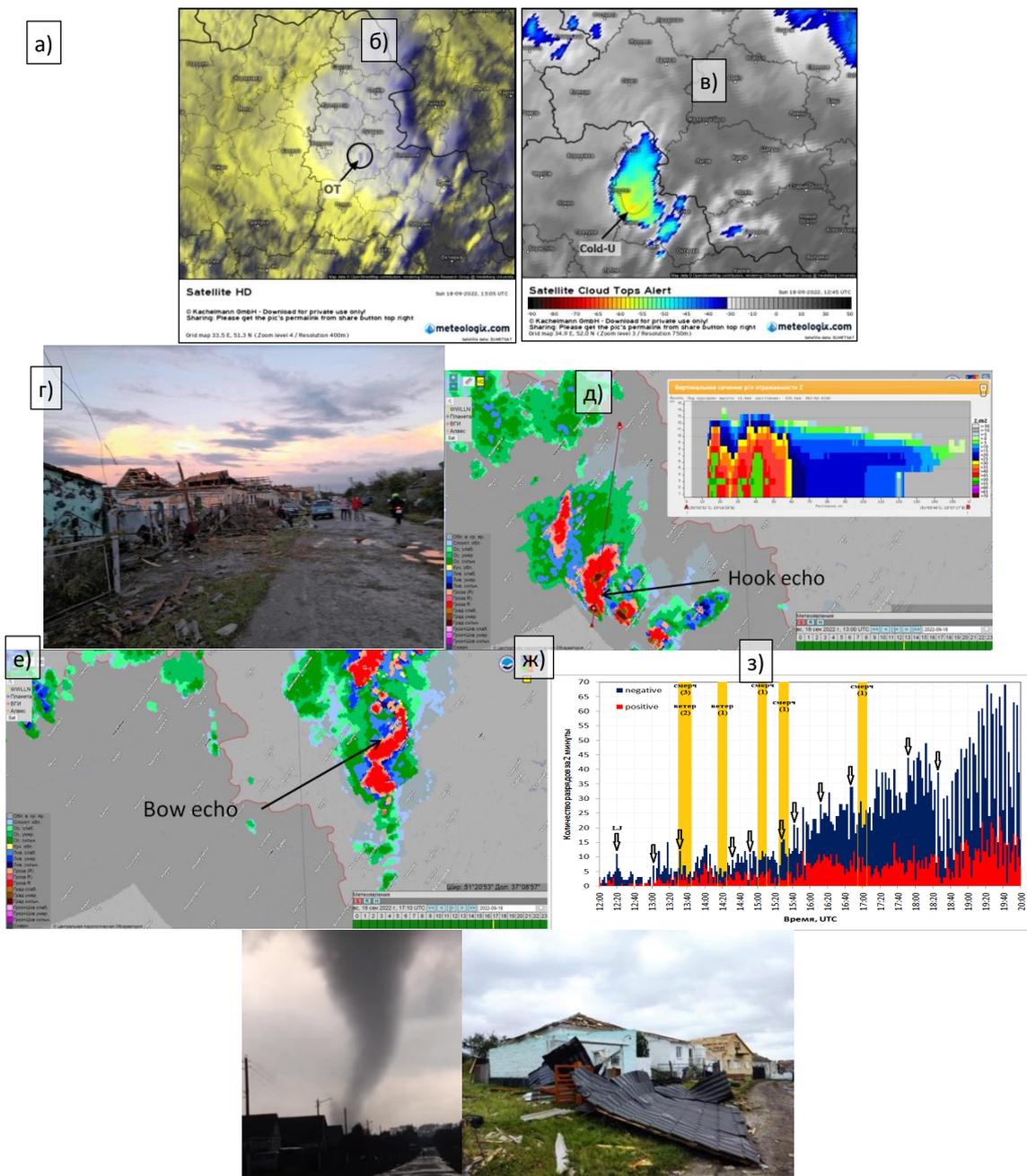


Рис. 1. Сигнатура OT (а), Cold-U (б) по спутниковым данным MSG и Hook echo по радарным данным (г) у суперячейки над Сумской областью Украины и фото разрушений (в); сигнатура Bow echo (по радарным данным) у КЛКС над Курской областью РФ (д); отметки фиксации Lightning Jumps (по данным грозопеленгации) и отметки времени фиксации опасных явлений вдоль трека СЯ и очага КЛКС (е), фото смерча (ж) и разрушений в Курской области (з)

2. **22.07.2023 г.:** дугообразная конвективная система (*bow echo*), Минский район, Республика Беларусь (ОКЯ: смерч, сильный шквал)

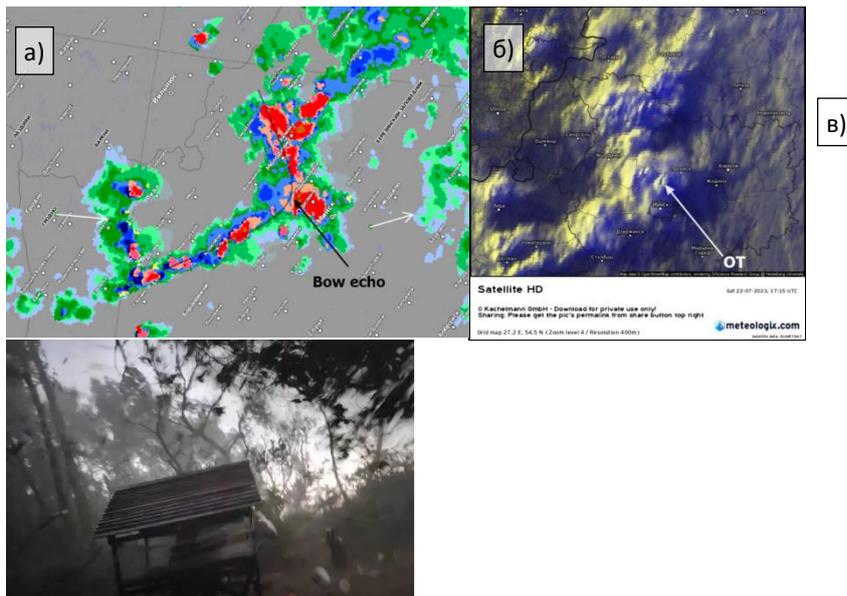


Рис. 2. Дугообразная конвективная система (bow echo), вызвавшая сильный шквал и смерч в Минском районе РБ, показана сигнатура bow echo на радарном изображении (а) и сигнатура ОТ (б) на спутниковом снимке (MSG); на фото (в) запечатлен момент сильного шквала очевидцами на берегу Заславского водохранилища.

Необходимо отметить, что перечисленные выше сигнатуры также наблюдались с некоторой заблаговременностью по отношению к ОКЯ: признаки формирования *bow echo* и *OT* были примерно за 1 час до времени наблюдения сильного шквала у земли.

### 3. 28.08.2023 г.: суперячейка (*hook echo*, *OT*, *cold-ring*), г. Могилев, РБ (ОКЯ: крупный град, сильный ливень, шквал).

При анализе данного случая также было установлено, что отмеченные сигнатуры наблюдались с заблаговременностью наблюдения выпадения крупного града и сильного ветра с ливнем в г. Могилеве порядка 1 ч – 1 ч 30 мин.

Алгоритм *Lightning Jump* по двум последним вышеописанным случаям пока не анализировался, предполагается сделать это в дальнейшем.

### Статистические данные по некоторым сигнатурам, на основе анализа случаев из базы данных мощных конвективных штормов (БД МКШ) НПО «Тайфун»

По статистике обнаружения спутниковых сигнатур для 40 конвективных систем из БД МКШ получены следующие предварительные оценки: сигнатура *Cold-U/V/ring* обнаружена в 73 % случаев конвективных систем (при этом разновидность *cold-ring* – 66 % из этого числа, *cold-U/V* – 34 % (что согласуется с аналогичными оценками по Европе). Сигнатура *OT* (чаще всего наблюдалась группа *OTs*) обнаружена в 88 % случаев систем.

Сигнатура *Cold-U/V/ring* наблюдалась чаще всего в зрелую стадию жизненного цикла конвективных систем/штормов. При этом, несмотря на тот факт, что часть ОКЯ иногда отмечалась и до развития сигнатуры, большинство (93 % из общего количества ОКЯ зарегистрированных явлений, чаще всего это был *сильный ветер* и *град*) пришлось на время после времени фиксации сигнатуры, либо, в меньшей степени, во время её существования. Медианное время условной заблаговременности (по отношению ко времени фиксации сигнатуры *Cold-U/V/ring*) для таких ОКЯ, как: *ливень* (наблюдался в 13 % случаев конвективных систем, при которых ОКЯ были после сигнатуры), *град* (73 %), *сильный ветер* (93 %) - составило 1 ч 10 мин – 1 ч 30 мин, для случаев *смерчей* (27 % - малое число случаев) – 2 ч 46 мин. Что касается сигнатуры *Lightning Jump*, по результату анализа заблаговременности сигнатуры перед опасными конвективными явлениями показал, что для 74 % случаев града, 75 % смерчей и 73 % сильных ливней алгоритмом зафиксированы *Lightning Jumps* за 31-60 минут; для 17 % случаев града, 17 % смерчей и 18 % сильных ливней - не более чем за 30 минут и лишь для 9% случаев града, 8 % смерчей и 9 % сильных ливней (за час до указанных явлений) *Lightning Jumps* алгоритмом зафиксированы не были.

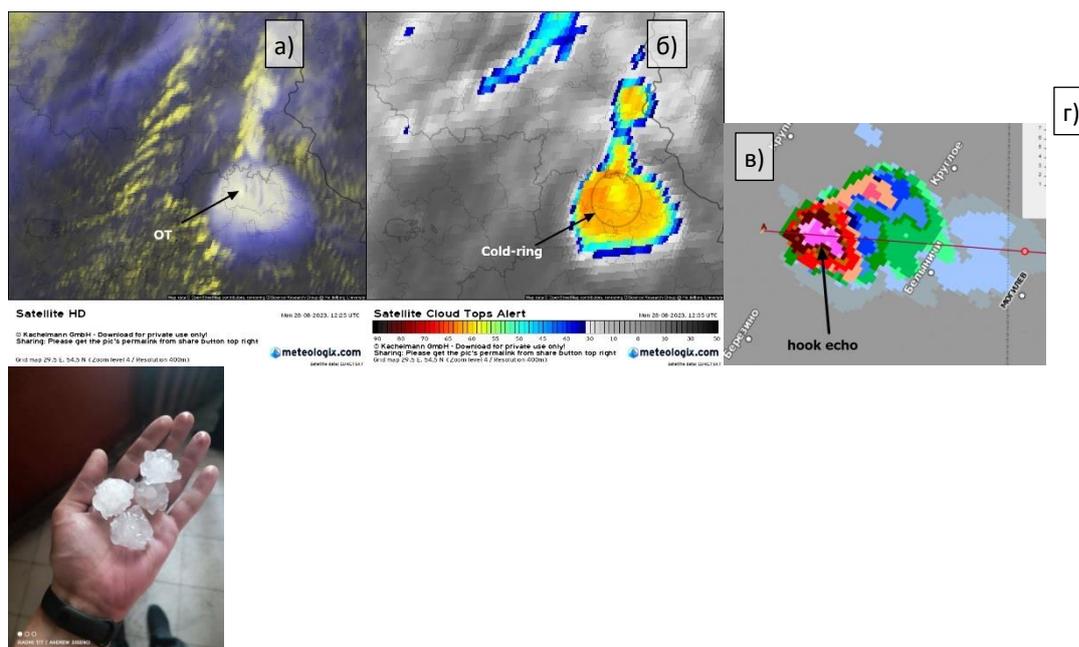


Рис. 3. Суперячейка в р-не г. Могилев с сигнатурами OT (а), cold-ring (б), hook echo (в); на фото (г) показан крупный град, выпавший в г. Могилеве.

## Выводы

Наблюдаемые по диагностическим данным при мощных конвективных процессах особенности (сигнатуры) имеют большое информационное значение для диагноза и наукастинга опасных конвективных явлений

(ОКЯ). Сигнатуры сигнализируют об интенсификации конвективных процессов – в этот период чаще всего формируется большинство ОКЯ (отдельно существует проблема времени фиксации ОКЯ и объективной разницы в частоте фиксации в густо- и малонаселенных территориях). Важно изучать совокупность признаков (сигнатур) в комплексе и учитывать тип, масштаб конвективных систем – это может дать лучший эффект. Предварительные результаты анализа показывают сопоставимость с аналогичными зарубежными и отечественными работами [3-6] и целесообразность дальнейшего регионального изучения рассмотренных признаков, путем исследования большего числа случаев. Важной задачей является развитие и внедрение методов объективной идентификации сигнатур. Данные мезомасштабного моделирования позволяют оценить риск формирования мощных конвективных структур и опасных конвективных явлений различного типа, для их наиболее успешного краткосрочного прогноза проводится работа по отбору наиболее информативных индексов. Подробное рассмотрение этого направления исследований коллектива авторов находится за рамками тематики представленной работы.

### **Библиографические ссылки**

1. Ингель Л.Х. Аналитические модели взаимодействия конвекции с задерживающими слоями в атмосфере. Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2023. Т. 59. № 4. С. 391–397.
2. Спрыгин А.А., Вязилов А.Е. Исследование мезомасштабной конвективной системы в центральных районах ЕТР 7 августа 2021 года. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2022. № 2 (394). С. 69–91.
3. Chernokulsky A., Shikhov A., Yarinich Y., Sprygin A. An empirical relationship among characteristics of severe convective storms, their cloud-top properties and environmental parameters in Northern Eurasia // Atmosphere. 2023. V. 14, 174.
4. Bedka K. Overshooting cloud top detection using MSG SEVIRI Infrared brightness temperatures and their relationship to severe weather over Europe // Atmospheric Research. – 2011. Vol. 99. P. 175–189.
5. Setvak M. et al. Satellite-observed cold-ring-shaped Features atop deep convective clouds // Atmospheric Research. 2010. Vol. 97. P. 80–96.
6. Schultz C.J., Petersen W.A., Carey L.D. Preliminary development and evaluation of lightning jump algorithms for the real-time detection of severe weather // J. Appl. Meteor. – 2009. Vol. 48. P. 2543–2563.
7. Radar signatures for severe convective weather [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.faculty.luther.edu/~bernatzr/Courses/Sci123/comet/radar/severe\\_signatures/index.htm](http://www.faculty.luther.edu/~bernatzr/Courses/Sci123/comet/radar/severe_signatures/index.htm) (дата обращения 14.09.2023 г.)