

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-2-93-113>

УДК 551.515.3

Анализ синоптических процессов возникновения смерчей в Курской области и близлежащих районах

Г.В. Санникова

*Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды, г. Курск, Россия
gasannik@mail.ru*

Рассмотрены случаи возникновения смерчей в Курской области и близлежащих районах Белгородской, Орловской областей и Сумской области Украины в 2003 и в 2019–2022 гг. Проанализированы условия возникновения рассматриваемого опасного явления на основе данных приземных, аэрологических и спутниковых наблюдений. Выделены случаи мезоциклонных смерчей, вызвавших наиболее разрушительные последствия и гибель людей. Систематизированы параметры облачности, типы воздушных масс и варианты синоптической ситуации, сопутствующие смерчам. Показана необходимость использования данных численных мезомодельных расчетов для распознавания смерча с помощью ДМРЛ-С.

Ключевые слова: смерч, суперячейка, Черноземье, Курская область, ДМРЛ-С

Analysis of the synoptic processes leading to the occurrence of tornadoes in the Kursk region and nearby areas

G.V. Sannikova

*Central Chernozem Administration for Hydrometeorology
and Environmental Monitoring, Kursk, Russia
gasannik@mail.ru*

The cases of tornado occurrence in the Kursk region and the nearest areas of the Belgorod and Orel regions in 2003 and 2019–2022 are considered. The conditions for the occurrence of the analyzed severe weather event are analyzed on the basis of surface, aerological, and satellite observations. The cases of mesocyclone tornadoes that led to the most devastating consequences, including death of people, are identified. The cloudiness parameters, air mass types, and variants of synoptic conditions accompanying tornadoes are systematized. The necessity of using the data of numerical simulations with mesoscale models for tornado detection using DMRL-C radars is demonstrated.

Keywords: tornado, supercell, Chernozem region, Kursk region, DMRL-C

Введение

Смерчем (тромбом или торнадо) называют вихрь с вертикальной осью вращения, диаметр которого обычно составляет от нескольких десятков

до сотен метров. По косвенным оценкам, максимальные скорости ветра в смерче могут превышать 100 м/с и достигать 200–300 м/с [7, 11].

Одной из причин роста общего числа конвективных явлений рассматривается быстрое повышение приповерхностной температуры [10], а вместе с ней и влагосодержания атмосферы. За последние 30 лет среднегодовая температура повысилась на 1,3 °С ($N_{1961-1990\text{гг.}} = 5,7$ °С, $N_{1991-2020\text{гг.}} = 7,0$ °С).

По обобщенным данным наблюдений, в советский период наибольшее число смерчей в России наблюдалось в Центрально-Черноземном и Центральном районах, а также у побережья Черного моря. Вероятность смерчей на единицу площади в Центрально-Черноземном районе наибольшая – 0,16/1000 км² [8]. В период 2009–2018 гг. в Центральном федеральном округе также наибольшая плотность смерчей – 3,8 за 10 лет на 10000 км² [11].

От года к году из-за особенностей циркуляции число смерчей может заметно меняться, однако главная причина увеличения их количества состоит в большем интересе общества к этому стихийному явлению. Стоит отметить, что наблюдательными подразделениями Росгидромета за последние 20 лет на территории деятельности Центрально-Черноземного УГМС (далее – УГМС) ни разу не фиксировались смерчи, но их возникновение отмечалось сторонними наблюдателями (благодаря доступности фото- и видеосъемки и наличию Интернета) и подтверждалось результатами обследований территории.

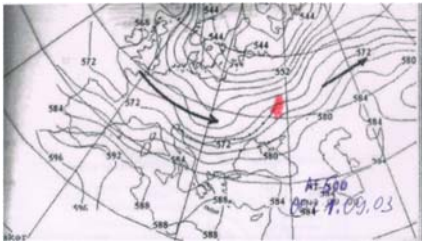
Учитывая, что Черноземье относится к территории с небольшим уровнем лесистости (по данным Большой российской энциклопедии 2004–2017 гг., леса занимают 7,9 % территории, с неравномерным распространением от 1,5–3,5 % на юго-востоке до 17–20 % на северо-западе), оценивать вероятность прохождения смерча по спутниковым снимкам ветровалов не представляется возможным, и тем актуальней становится возможность маршрутных обследований, проводимых после случаев возникновения таких явлений для подтверждения факта данного события. С установкой 20 октября 2015 г. в Курске в рамках программы модернизации Росгидромета доплеровского метеорологического радиолокатора (далее ДМРЛ-С), появилась возможность более тщательно отслеживать параметры облачности, сопутствующие опасным конвективным явлениям, в том числе смерчам.

Целью данного исследования является детальное рассмотрение и анализ условий возникновения торнадо в 2003 и 2019–2022 гг. в Курской области и близлежащих районах Белгородской и Орловской областей, а также в Сумской области Украины, и попытка систематизировать параметры облачности, сопутствующие смерчам, по данным ДМРЛ-С Курск.

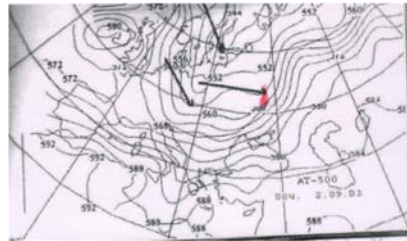
**Анализ случаев наиболее разрушительных смерчей,
отмеченных в Курской области 1 сентября 2003 года (15–16 ч ВСВ)
и 18 сентября 2022 года (15–17 ч ВСВ)**

Синоптические условия

При исследовании синоптических условий, приведших к формированию самых разрушительных смерчей в Курской области и близлежащих районах, выяснилось, что они были практически идентичны. На картах барической топографии и приземного давления за 1.09.2003 и 18.09.2022 видно (рис. 1, 2), что в обоих случаях в средней тропосфере над Центральной Европой располагается обширная высотная ложбина с осью, проходящей через Польшу и запад Балканского полуострова, над Черноземьем – ВФЗ, огибающая эту ложбину (изогипса, близкая к осевой).



АТ-500 за 00 ч 01.09.2003



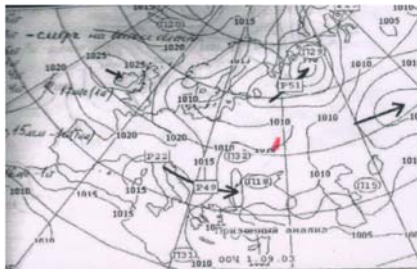
АТ-500 за 00 ч 02.09.2003



АТ-850 за 00 ч 01.09.2003



АТ-850 за 00 ч 02.09.2003



Приземный анализ за 00 ч 01.09.2003



Приземный анализ за 00 ч 02.09.2003

Рис. 1. Карты барической топографии и приземного давления за 00 ч 01.09.2003, 00 ч 02.09.2003.

Fig. 1. Maps of baric topography and surface pressure at 00 UTS 01.09.2003, 00 UTS 02.09.2003.

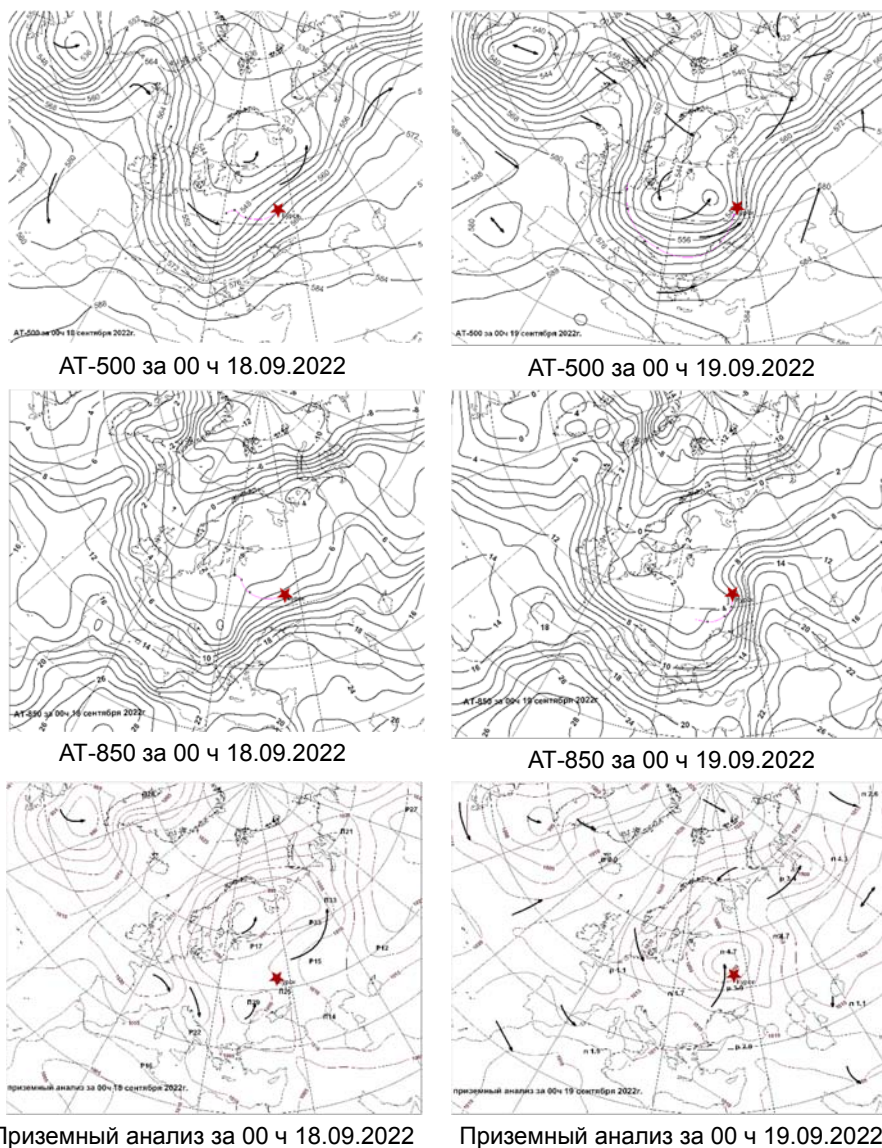


Рис. 2. Карты барической топографии и приземного давления за 00 ч 18.09.2022, 00 ч 19.09.2022.

Fig. 2. Maps of baric topography and surface pressure at 00 UTS 18.09.2022, 19.09.2022.

Ось ложбины на АТ-500 в течение суток смещается на восток и к 00 ч следующих суток располагается над центральными (02.09.2003) или западными (19.09.2022) районами УГМС, оставляя регион на циклонической периферии ВФЗ, причем в последнем случае в ложбине над югом Белоруссии – северо-востоком Украины изолируется маломасштабный

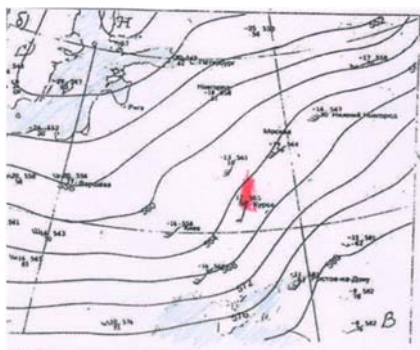
циклонический вихрь. В нижней тропосфере в это же время увеличивается градиент температуры, изотермы на АТ-850 приобретают более меридиональное направление. На восток Черноземья активно выносятся тепло ($13-17^\circ$), на центральные районы Украины и юго-запад ЦФО распространяется холодная воздушная масса ($4-5^\circ$). У поверхности земли в 00 ч 01.09.2003 и 00 ч 18.09.2022 в области депрессии, очерчиваемой одной изобарой, расположенной над Молдавией и западом Черного моря, углубляется активный черноморский циклон, выходящий в 00 ч 02.09.2003 на северо-восток, в 00 ч 19.09.2022 – на северо-запад УГМС.

Днем 01.09.2003 и 18.09.2022, в период максимального развития конвекции, на АТ-500 над УГМС наблюдаются юго-юго-западные ветры до 25–28 м/с, в нижней тропосфере (АТ-850) в передней части циклонического вихря, образовавшегося над Черниговской и Киевской областями, над центральными районами Украины и юго-западом Черноземья градиент температуры составляет $13-18^\circ/1000$ км, у земли на волнах холодного фронта формируются молодые циклоны (рис. 3).

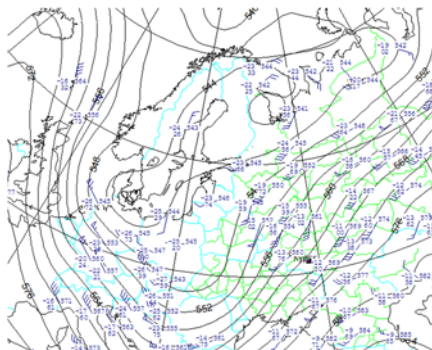
По данным зондирования, воздушная масса в обоих случаях имеет общие признаки: юго-восточный и юго-юго-восточный ветер в нижнем слое тропосферы (на АТ-850 или АТ-925), юго-западный ветер на вышележащих слоях, усиление ветра с высотой с 5–15 м/с на АТ-850 и АТ-925 до 25–29 м/с на АТ-500, что способствует наклону растущего облака и наложению горизонтальной завихренности на конвективное движение вверх [9]. При этом неустойчивость в атмосфере в конкретное время выпуска радиозонда – в 12 ч 01.09.2003 (рис. 4), 12 ч 18.09.2022 (рис. 5) – незначительна, вертикальный градиент температуры в слое земля – 700 гПа составляет $0,47^\circ/100$ м, что немного превышает влажноадиабатический градиент ($0,44^\circ/100$ м при температуре 20° [4]). Температура у земли не превышает $18-20^\circ$, при этом в слое 0–3 км средняя температура очень высокая – $10-12^\circ$.

Распределение влажности с высотой отличается в рассматриваемых случаях. Это объясняется тем, что в 12 ч 01.09.2003 точка зондирования (АЭ Курск) оказалась непосредственно на линии фронта, а в 12 ч 18.09.2022 – между линиями фронта в двойной системе в теплом секторе полярного фронта.

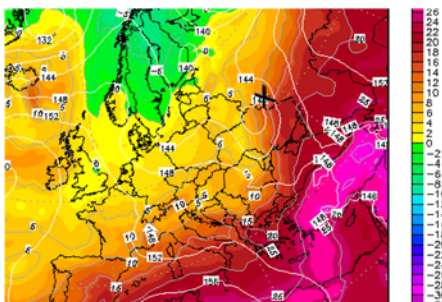
По графику Решетова [4] для альтернативного прогноза шквала (по фактическому радиозонду) днем 01.09.2003 шквал был вероятен с максимально возможной скоростью до 32 м/с, днем 18.09.2022 – шквал не ожидался, так как кривая стратификации и кривая состояния практически совпадали (сумма отклонений кривой стратификации от кривой состояния всего $1,8^\circ$), что в графике для альтернативного прогноза шквала определялось "без шквала". Но по методу Пескова – Снитковского [4], заложенному в компоненте "прогностический зонд" ПО Гисметео и рассчитанному от 00 ч 18.09.2022 с заблаговременностью 12 часов, в Курске прогнозировался шквал 34 м/с.



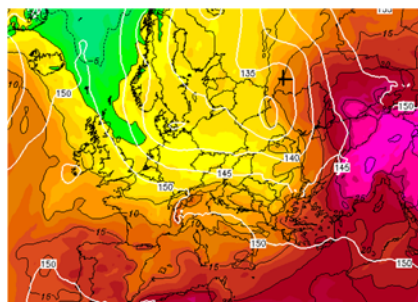
АТ-500 за 12 ч 01.09.2003



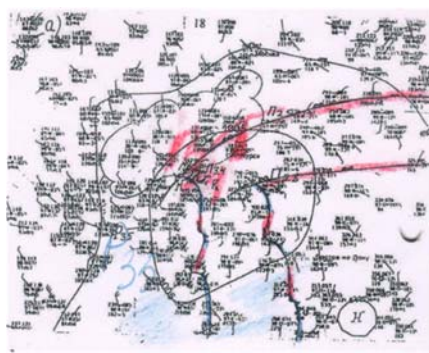
АТ-500 за 12 ч 18.09.2022



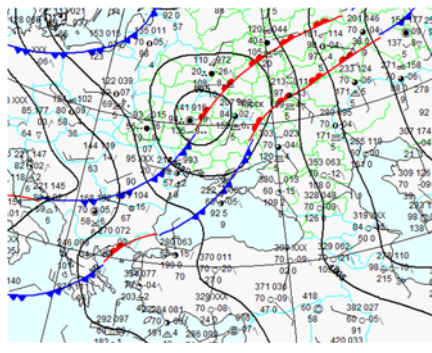
АТ-850 за 12 ч 01.09.2003



АТ-850 за 12 ч 18.09.2022



Приземный анализ за 12 ч 01.09.2003



Приземный анализ за 12 ч 18.09.2022

Рис. 3. Карты барической топографии и приземного давления за 12 ч 01.09.2003, 12 ч 18.09.2022.

Fig. 3. Maps of baric topography and surface pressure at 12 UTS 01.09.2003, 12 UTS 18.09.2022.

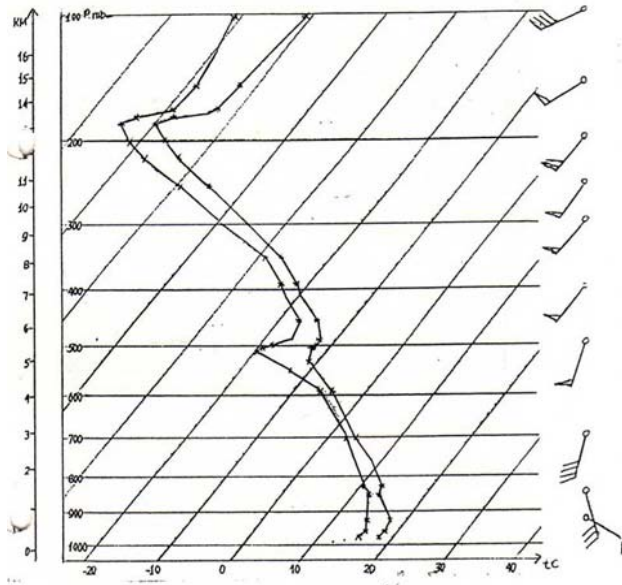


Рис. 4. Вертикальный профиль атмосферы в районе МС Курск в 12 ч 01.09.2003.

Fig. 4. Vertical profiles of the atmosphere in the area of MS Kursk at 12 UTS 01.09.2003.

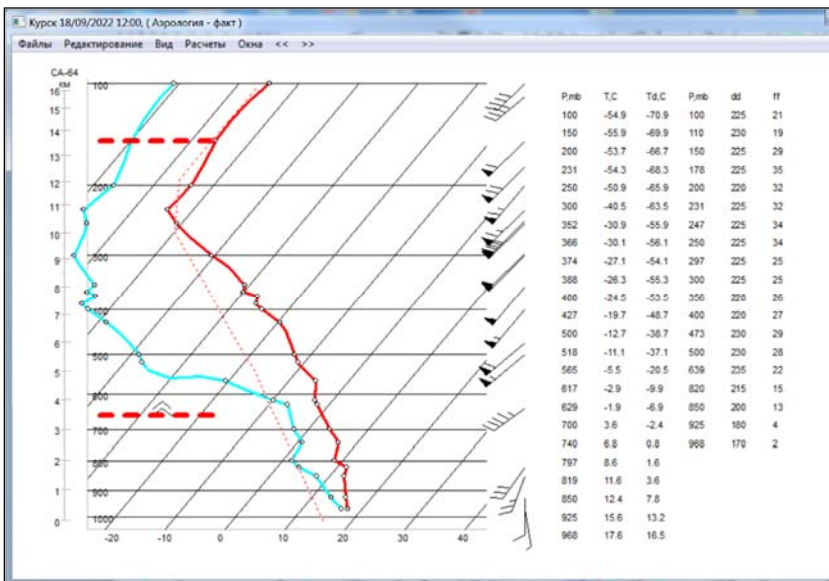


Рис. 5. Вертикальный профиль атмосферы в районе МС Курск в 12 ч 18.09.2022.

Fig. 5. Vertical profiles of the atmosphere in the area of MS Kursk at 12 UTS 18.09.2022.

Небольшая разница в траекториях смещения южного циклона обусловила траекторию смещения смерчей по востоку или по западной половине области (рис. 6а, б).

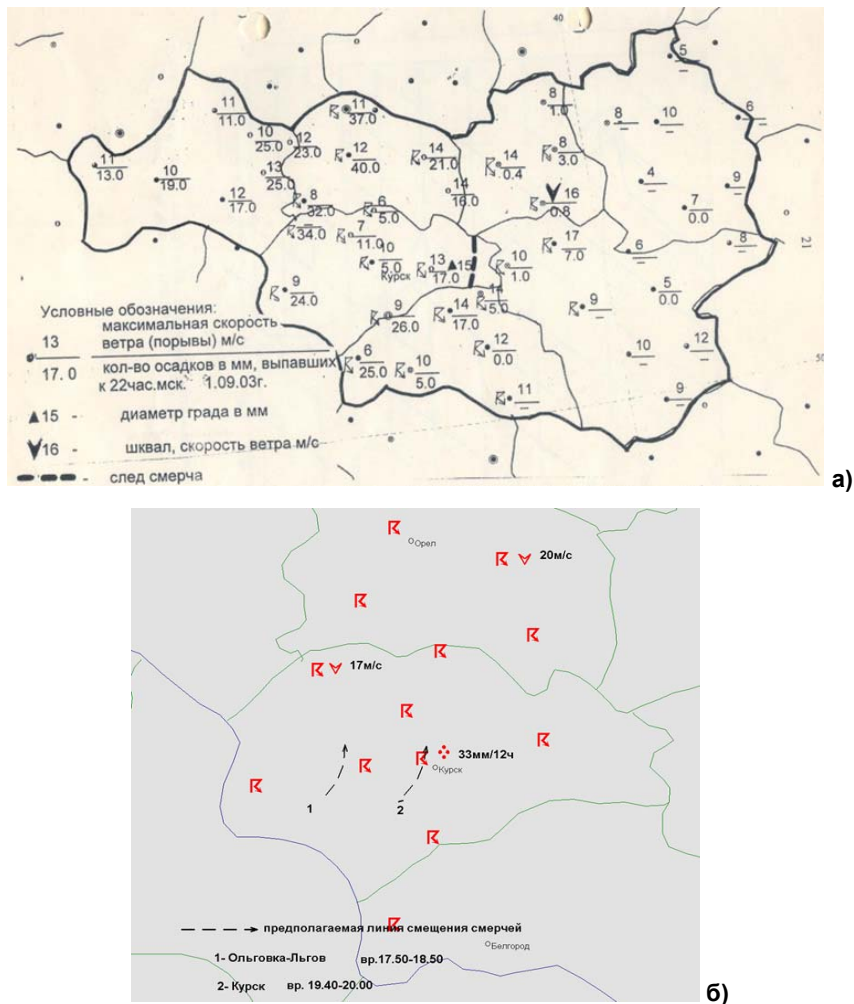


Рис. 6. Траектория смерча 01.09.2003 (а), 18.09.2022 (б).
Fig. 6. Tornadoes trajectory 01.09.2003 (а), 18.09.2022 (б).

Фактические данные и последствия

Рассмотрим случаи возникновения смерчей, которые привели к значительным разрушениям и человеческим жертвам.

01.09.2003 по базе данных ESWD отмечались три случая смерча: один – в Белгородской области (Кочетовка), два – в Курской области (Мантурово и Касторное). Итенсивность первых двух по шкале Фудзиты (Fujita)

оценивалась как F1, последнего – как F3 (ущерб от него составил 170 млн рублей, жертвами стихии стали четыре человека).

18.09.2022 на юго-западе России и северо-востоке Украины наблюдалась "вспышка смерчей", которые можно объединить в "семейства торнадо" [11]. Разница по времени между ними составляла около 1 часа: 13.30–13.50 ч ВСВ в Сумской области (Шурово и Бурынть, F1 и F3) – база данных ESWD, 14.50–15.40 ч ВСВ на западе Курской области (Ольговка и Льгов, F1 и F2), 16.40–17.00 ч ВСВ в центре Курской области (Курск, F1). В Сумской области погиб человек, в Курской области были повреждены более 200 зданий, в том числе социально значимых объектов, 17 жилых домов практически полностью разрушены, повреждены 40 автомобилей, погибли два человека, в 10 районах области было нарушено электроснабжение, в том числе из-за падения высоковольтных ЛЭП (рис. 7).



Рис. 7. Смерч (д. Ольговка) 14.50–15.10 ч ВСВ 18.09.2022.

Fig. 7. Tornado (v. Olgovka) 14.50–15.10 UTS 18.09.2022.

Если в Сумской области Украины и в западных районах Курской области смерч прошел в конце светового дня и в сумерках, что визуально позволило определить явление однозначно, то через Курск смерч проходил уже с наступлением темноты (заход Солнца в 15.44 ч ВСВ, наступление темноты в 16.24 ч ВСВ), что не позволило сделать качественное фото. На имеющихся видео во вспышках молний хорошо видны предметы, несущиеся в воздушном вихре, и актом обследования было подтверждено прохождение смерча.

Из Акта обследования №2 от 19.09.2022: «Координаты: 51,67° с. ш.; 36,08° в. д.; время начала обследования 11.50 ч ВСВ; радиус обследования 1 км. Тип местности – равнина, непосредственно прилегающая к низкой, пойменной долине р. Сейм. Абсолютная высота 165–168 м. Застройка городского района неоднородная, смешанная (комбинированная): парковая зона, многоэтажные и малоэтажные здания, между ними улицы различной ширины, небольшие площади и общественные территории. Зона поврежденных расположена в основном между проспектом Ленинского Комсомола и улицей Присеймской. Имеются повреждения крыш зданий, ограждений, множество сломанных и вывороченных с корнем деревьев, разбитых машин. Все признаки указывают на прохождение смерча. В условиях городской застройки его диаметр определить невозможно» [2].

По свидетельству очевидцев, львовский смерч сформировался в южной части города (район Автоколонны), примыкающей к привокзальному району, затем, пройдя через пойму р. Сейм, усилился. В Пригородной Слободке г. Львова смерч достиг наибольшей интенсивности F2, был отмечен случай с коровой, унесенной торнадо, которую впоследствии так и не нашли, на фотографиях из Львовского района видны легковые машины, брошенные на рельсы на значительном расстоянии от автодороги, некоторые частные жилые дома практически полностью разрушены. Время прохождения смерча через Пригородную Слободку (Льгов) известно точно – 15.36 ч ВСВ (время падения опоры ЛЭП, зафиксированное филиалом ПАО «ФСК ЕЭС» Черноземное предприятие магистральных электрических сетей). Окончательная оценка ущерба, причиненного объектам инфраструктуры, жилым домам и объектам социального назначения, была подготовлена только в марте 2023 года.

Данные ИСЗ и параметры облачности по ДМРЛ-С Курск

На ИК-снимках линии холодного фронта, с которыми были связаны смерчи, с характерной облачностью Сb округлой формы, во всех случаях выглядят практически идентично (рис. 8).

Смерчи, отмеченные в Курской области 18.09.2022, были изучены более тщательно благодаря данным ДМРЛ-С и возможностям современных средств привязки к определенному району. Смерчеобразующие облака, прошедшие в тот же день по Сумской области Украины (координаты торнадо из базы данных ESWD), также видны на обзорах ДМРЛ-С Курск,

но только в режиме отражаемости, так как расстояние до этих районов от места установки локатора больше 200 км, что не позволило отследить некоторые параметры воздушной среды.



а) 14.52 ч 01.09.2003



б) 15.00 ч 18.09.2022



в) 17.00ч 18.09.2022

Рис. 8. ИК-снимок NOAA: смерч в Касторенском районе в 14.52 ч ВСВ 01.09.2003 (а); ИК-снимок Meteosat смерч в Львовском и Корневском районах в 15.00 ч ВСВ 18.09.2022 (б); смерч в Курске в 17.00 ч ВСВ 18.09.2022 (в).

Рис. 8. IR image NOAA :at 14.52 UTS 01.09.2003 (а); IR image Meteosat for 15.00 UTS 18.09.2022 (б); IR image Meteosat for 17.00 UTS 18.09.2022 (в).

В 13.30 в районе Шурово, в 13.40 в районе Бурьни отмечались МКК с явлением "шквал слабый", с высотой Нвго 13,3–14,7 км, максимальной отражаемостью Z_{\max} 61 dBz и максимальными обнаруженными неоднородностями доплеровской скорости на высоте 4–5 км $-23/+17$ м/с и $-25/+19,5$ м/с, что, учитывая значительно больший объем воздуха для осреднения на таком расстоянии (от ДМРЛ-С), можно оценить как очень интенсивный разнонаправленный поток [6]. При развитии конвекции над Курской областью (на меньшем удалении от локатора с возможностью просмотра изображений в режиме "скорость") на обзорах ДМРЛ-С диагностировались

только грозы и град умеренный, но горизонтальный ветер в соседних узлах сетки при прохождении д. Ольговка имеет встречное направление и скорость 35–65 м/с. По базе данных ESWD в Льгове отмечался уже другой смерч, что согласуется с данными лоатора, так как по последовательным 10-минутным обзорам и вертикальным разрезам постоянно идет рост и размывание Сб, смещающихся друг за другом (рис. 9а), – вертикальный разрез за 15.30 ч ВСВ 18.09.2022, сделанный по ходу движения МКС (мезомасштабной конвективной системы).

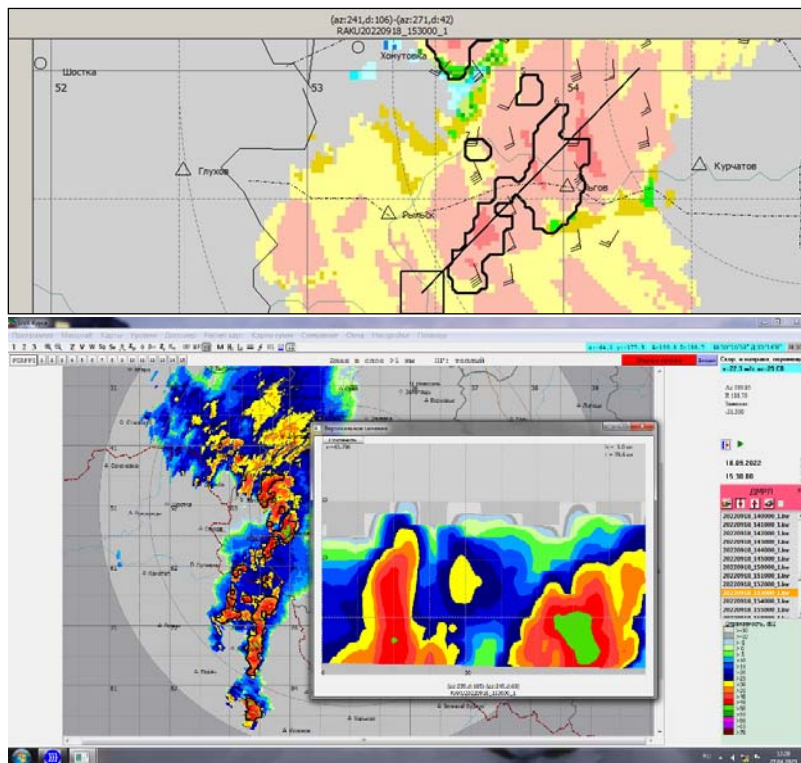


Рис. 9. Вертикальный разрез за 15:30 ч ВСВ 18.09.2022, проведенный по направлению ведущего потока (смерч в Льгове).

Fig. 9. Vertical section for 15:30 UTC 18.09.2022, taken in the direction of the leading stream (tornado in Lgov).

В 15.30 ч ВСВ вблизи Льгова отмечались множественные очаги со значительной горизонтальной неоднородностью скоростей (до $-17/+28$ м/с) на высотах от 1 до 5 км, в 16.50 ч ВСВ на юго-западе Курска – до $-23,5/+26$ м/с. В Ольговке верхняя граница Сб была 13.0–13.2 км, в Льгове в период с 15.30 до 15.40 ч ВСВ увеличилась на 2.3 км: с 14.1 до 16.4 км.

В Курске (юго-запад города) смерч был отмечен в 16.50–17.00 ч ВСВ и сформирован он был другой облачной системой. Но также, как и во Льгове,

локатором определялся только умеренный град с грозой. В целом, параметры облачности не достигали значений, принятых за критерий распознавания смерча в ПО Гимет-2010 [6].

Анализ синоптических условий возникновения смерчей в Курской области и ближайших районах Черноземья

Помимо уже рассмотренных случаев, в период 2019–2022 гг. в Черноземье отмечались локальные смерчи, не приведшие к катастрофическим последствиям, но с вероятной скоростью в "стенках" смерчевой воронки более 30 м/с. Частота их появления сопоставима с частотой случаев очень сильного ветра ≥ 25 м/с (ОЯ) в регионе УГМС (табл. 1), что требует разработки алгоритма их прогнозирования.

Таблица 1. Частота появления случаев ОЯ "очень сильный ветер (≥ 25 м/с), в т. ч. шквал" и смерчей на территории деятельности Центрально-Черноземного УГМС

Table 1. Distribution of weather phenomenon "very strong wind" (≥ 25 m/s) and tornado in the Central Chernozem region

	2019	2020	2021	2022
ОЯ (≥ 25 м/с)	–	–	–	3 (25–29 м/с)
Смерч	1	2	–	2

Конечно, на частоту зафиксированных ОЯ "очень сильный ветер, в т. ч. шквал" влияет редкая сеть наблюдательных постов, в то время как для фиксации смерча достаточно фото, видеоматериалов и результатов обследования. Но обследование территории по факту предполагаемого смерча тоже производится далеко не всегда, а значит и их количество может быть занижено.

В табл. 2 представлены данные о синоптических ситуациях при возникновении смерчей в Курской, Орловской и Белгородской областях в 2003 и в 2019–2022 гг., подтвержденных обследованиями пострадавших территорий с привлечением специалистов гидрометслужбы или фото- и видеоматериалами сторонних наблюдателей, в том числе представителей МЧС.

Для смерчей, отмеченных в Курской области, в табл. 3 приведены данные о соответствии фактических синоптических условий признакам, характерным для интенсивной конвекции, в том числе при возникновении смерча [3].

Таблица 2. Синоптические ситуации при возникновении смерчей на территории деятельности Центрально-Черноземного УГМС
Table 2. Comparative characteristics of the synoptic conditions for the appearance of tornadoes in the Central Black Earth UGMS

Синоптическая ситуация	Дата / время ВСВ / район					
	1.09.2003/ 15.00-16.00/ Касторное (Ку)	9.05.2019/ 11.20-11.50/ Рыльск (Ку)	29.05.2020/ 14.20-14.40/ Верховье (Ор)	1.06.2020/ 9.50-10.00/ Белгород (Бе)	15.07.2022/ 13.20/ Коньшевский р-он (Ку)	18.09.22/ 14.50-17.00/ Льгов (Ку)
Барическое поле АТ-500, V500гПа, м/с	ВФЗ, передняя часть обширной ложбины, юго-западный перенос 25 м/с	ВФЗ, передняя часть обширной ложбины, юго-восточный перенос 20 м/с	ВФЗ, западная периферия высотного гребня, южный, юго-восточный перенос 20-25 м/с	в глубокой и узкой ложбине начал изолироваться высотный циклон над Киевской обл.	ВФЗ, передняя часть обширной ложбины, юго-западный перенос 20 м/с	ВФЗ, передняя часть ложбины, юго-западный перенос 28 м/с
Барическое поле АТ-850, градиент температуры °/1000км	передняя часть циклона над Черниговской, Киевской обл., 13-15°/1000км	передняя часть циклона над Германией, 14°/1000км	ложбина от циклона над Одессой, 14°/1000км	передняя часть циклона над центр. Украиной, 12-14°/1000км	передняя часть слабо выраженной ложбины в фр. зоне, 11°/1000км	передняя часть циклона над Черниговской, Киевской обл., 18°/1000км
Приземное барическое поле	волна с юга на ХФ, двойная система фронтов	молодой циклон на волне ХФ	волна с юга на ХФ, двойная система фронтов	молодой циклон на волне ХФ	Волна на холодном фронте	Молодой циклон на волне ХФ (двойная система)
T / Td у земли, °С	20-23 / 18-19	18 / 14-15	22-23 / 16-17	13-14 / 11	26-27 / 16	20-21 / 17
Сопутствующие явления	грозы, дождь 17-26 мм/12ч, град 15мм (Тим)	грозы, дождь 14мм/12ч	грозы, дождь 12-27 мм/12ч, шквал 18мм/с, град 22мм	грозы, дождь 12 мм/12ч, шквал 18мм/с, град 12мм	грозы, дождь 9-12 мм/12ч, ветер 17м/с	грозы, дождь 26-33 мм/12ч, шквал 17-20мм/с (20 - Орл. обл.)

Таблица 3. Соответствие фактических синоптических условий признакам, характерным для интенсивной конвекции, в том числе при возникновении смерчей в Курской области
Table 3. The presence of signs accompanying the formation of a tornado during the actual appearance of a tornado in the Kursk region

Синоптические признаки (наличие)	1.09.2003	9.05.2019	15.07.2022	18.09.2022
Динамический фактор (в волновых возмущениях, циклонах, на фронтах и на разделах воздушных масс с различной влажностью)	Волна на ХФ (двойная система)	Молодой циклон на волне ХФ	Волна на ХФ	Молодой циклон на волне ХФ (двойная система)
Большая конв. неустойчивость в атмосфере с верт. градиент. темпер. значительно больше вл. адиабатических	0,47°/100м	0,6°/100м	0,7°/100м	0,47°/100м
Сильные, с большим верт. сдвигом юз ветры в средней и верхн. тропосфере (наличие мощного СТ) и существование в погр. слое атмосферы СТ нижних уровней, имеющего юв или ю напр.	На Н > 5 км V _{юз} =25-30 м/с СТ на Н=12,5 км (V=30м/с) На Н=0,5-2 км V _{юз} =10-15 м/с	На Н > 5 км V _{юз} =20-25 м/с СТ на Н=11,5 км (V=25м/с) На Н=1,0-1,5 км V _{юз} =17 м/с	На Н > 7,5 км V _{юз} ≥ 30 м/с На Н=0,5-2 км V _{юз} =8-10 м/с	На Н > 5 км V _{юз} =25-35 м/с СТ на Н=10,5-14 км (V>30м/с) на Н=0,5-2 км V _{юз} , ю=5-15м/с
Подток с ю и юв влажного воздуха в слое земля-1000 м и сухого воздуха с юз в средней тропосфере	Дефицит т.р. в слое ΔТземля-850мб=1-4° ΔТ600-300мб=1,5-8°	Дефицит т.р. ΔТземля-850мб=0,7-6° ΔТ500-300мб=7-9°	Дефицит т.р. ΔТземля-850мб=6-11° ΔТ500-300мб=8-11°	Дефицит т.р. ΔТземля-925мб=1,1-2,4° ΔТ500-300мб=23-30°
Наличие задерживающего слоя выше погр. слоя, вследствие чего образование мощных Сб происходит взрывным образом	На Н=1,5км задерж. слой с верт. гр. Т-ры 0,2°/100м < ВА На Н=5,5км слой с изотермией	На Н=3,5км задерж. слой с инверсией - 0,1°/100м	На Н=5,5км задерж. слой с инверсией - 1,0°/100м	На Н=1,5-2км задерживающие слои с верт. гр. Т-ры 0,3°/100м < ВА.

Во всех случаях отмечено наличие следующих параметров: 1) динамического фактора, обеспечивающего подъем теплого и влажного воздуха нижней тропосферы вверх, что имеет место в волновых возмущениях, циклонах, на фронтах и на разделах воздушных масс с различной влажностью; 2) задерживающего слоя выше пограничного слоя, вследствие чего образование мощных кучево-дождевых облаков происходит взрывным образом.

В реальных условиях это неполное соответствие параметров может быть связано с редкостью аэрологических наблюдений на фоне быстрого смещения смерчеобразующих облаков, из-за чего для анализа условий приходится совмещать приземные и высотные данные за разные сроки наблюдений, что является некорректным.

Более объективными для сравнения параметров облачности являются данные ДМРЛ-С Курск. В табл. 4 представлены характеристики S_b во время прохождения смерчей. Необходимо отметить, что детализированный анализ данных в оперативном режиме проводить проблематично из-за большой неоднородности облачных полей и хаотичности распределения ячеек (пикселей) с разнонаправленными величинами, а также частого появления подобных конвективных ячеек на обзорах ДМРЛ-С Курск.

Из общего ряда случаев торнадо, отмеченных в Курской области, по синоптической ситуации и характеру повреждений выбивается смерч, прошедший 15.07.2022 в Коньшевском районе, который не занесен в базу данных ESWD. В данном случае перенос воздушных масс в средней тропосфере был близок к зональному (в передней части ложбины), а также отмечалась самая высокая из рассмотренных случаев температура приземного воздуха ($26-27^\circ$) и минимальный градиент температуры в нижней тропосфере ($11^\circ/1000$ км). В связи с падением опоры ЛЭП 750 кВ в 13.20 ч ВСВ 15.07.2022, 18.07.2022 было организовано маршрутное обследование данного района и выявлены признаки прохождения смерча [1]. Из Акта №1 маршрутного обследования района распространения опасного явления от 18.07.2022 г. в Коньшевском районе Курской области: «Координаты $51,57^\circ$ с. ш.; $36,02^\circ$ в. д.; время начала обследования 12.40 ч.; радиус обследования 3 км. Тип местности – слабохолмистая равнина, поля, перемежающиеся лесопосадками шириной 10–30 м из деревьев смешанных пород. Сплошная полоса повреждений, характерная для шквалов, на поверхности земли не наблюдается. Повреждения имеют очаговый характер, что указывает на прохождение смерча. Очаги касания смерча земной поверхности с шагом около 200 м четко прослеживаются и имеют закругленные, частично срезанные контуры. Их радиус можно определить только ориентировочно как 20–30 м в связи с прохождением интенсивных осадков и ветровых нагрузок до и после прохождения смерча. На полях зерновые культуры внутри очагов уложены по спирали у центра и хаотично по краям. В лесопосадках деревья выворочены с корнем, с высоты 12–15 м стволы срезаны и уложены от центра очага.

Таблица 4. Радиолокационные параметры для случаев смерчей в радиусе действия ДМРЛ-С Курск
Table 4. Comparative characteristics of DMRL parameters for cases of noted tornadoes within the range of DMRL-S Kursk for the period 2019-2022

Радиолокационные параметры	Дата / время ВСВ / район					
	9.05.2019 11.20-11.50 Рыльск (Ку)	29.05.2020 14.20-14.40 Верховье (Ор)	1.06.2020 9.50-10.00 Белгород	15.07.2022 13.20 Коньшевский р-он (Ку)	18.09.2022 14.50-15.40 Ольг-Льгов (Ку)	18.09.2022 16.40-17.00 Курск
Zмакс dBz	50-52,5	65-67	53,5	54-57	52-57	54
Zдиффер	4,4	>5	4,7	>6	5,3	5
Нвго км	11,7	14-15,3	13-15	11-14	13-16,4	13-14
ΔH (над обл) км	5	2-3	3-5	2	1-1,5	1-1,5
dH/dt км/10мин	3,3	5,4	10?	3,2	2,3	-
$-V/+V$ м/с на выс. 1-5км	-22,5/10,5	-16,5/23	-22,5/9,5	-10/22,5 обособлен	-16/28,5	-17/15,5
Vгор на выс. 1-5км	15-65м/с	22-27м/с	12м/с	17-65м/с	25-65м/с	15-20м/с
Общая Vсмещ.	14-15 м/с	15-16м/с	12м/с	21м/с	21-22м/с	24-25м/с
Диагн. явл.	Гроза>90%	Шкв ум	Град ум	Град ум	Град ум	Град ум

Примечание. Zмакс – максимальная отражаемость; Zдиффер – дифференциальная отражаемость; Нвго – высота верхней границы облачности; ΔH (над обл.) – превышение вершины Св над окружающим основным массивом; dH/dt км/10 мин – прирост высоты облачности, отмеченный за короткий промежуток времени; $-V/+V$ м/с на выс. 1-5 км – максимальные обнаруженные неоднородности доплеровской скорости в соседних пикселях в районе прохождения смерча на высотах 1-5 км; Vгор на выс. 1-5 км – скорость горизонтального ветра в районе прохождения смерча на высотах 1-5 км; общ Vсмещ. – скорость фактического смещения облачных полей; Диагн. явл. – явления, расшифрованные ПО Гимет-2010 во время прохождения смерча.

Опора ЛЭП сорвана с оттяжек, лежит на земле, ее металлические конструкции имеют характерные спиралеобразные деформации. В радиусе 20 м от ее основания имеются повреждения зерновых культур от центра к краям очага». Упавшая опора ЛЭП №83 ВЛ-750 кВ по нормативам должна выдерживать ветер до 30 м/с, что говорит об усилении ветра больше этого значения. Кроме того, из-за выкорчеванного с корнями старого дуба было частично разрушено деревенское кладбище, расположенное в 1 км от опоры.

На обзоре локатора с доплеровской скоростью за 13.20 ч ВСВ 15.07.2022 видно множество ячеек, потенциально способных создать необходимую завихренность. Судя по данным обследования, в этом случае имел место "прыгающий торнадо" [11], когда "хобот", опускающийся из материнского облака, лишь на короткое время (практически одномоментно) достигал поверхности земли.

Помимо смерчей, оставивших следы на поверхности земли (сплошной полосой или отдельными очагами касания, как в случае 15.07.2022), в Курской области в теплый период 2022 г. метеорологами-любителями были запечатлены смерчевые воронки, спускающиеся из Сб, но не достигшие земли (3.07.2022 и 21.09.2022).

Весь набор информации, собранный в отделе метеопрогнозов ФГБУ «Центрально-Черноземное УГМС» за последние 5 лет, позволяет предположить, что смерчи (или торнадо) образуются в средней полосе России гораздо чаще, чем отражено в действующем Руководстве по краткосрочным прогнозам погоды (1986 г.) [7]. В большинстве случаев они или не получают должного развития, так и оставаясь всего лишь "зародышами" торнадо, или их образованию не предшествует формирование мезоциклона [14], из-за чего разрушения прослеживаются на очень ограниченной территории и не всегда попадают в поле зрения официальных структур (немезоциклонные торнадо [15]). Но периодически (в Курской области примерно 1 раз в 20 лет) при максимальном наложении благоприятных факторов, описанных в первой части статьи, в том числе при образовании мезоциклона, торнадо может нанести огромный ущерб населению и экономике региона.

Выводы

Смерчи в Курской области могут отмечаться при довольно разнообразных синоптических ситуациях, общих для большинства опасных конвективных явлений, но наиболее разрушительными они бывают при вполне определенных условиях, аналогичных случаям 01.09.2003 и 18.09.2022 и соответствующих 1 и 2 типу (по Снитковскому) [8]. Для возникновения смерча, по мнению автора, необязателен значительный прогрев приземного слоя воздуха. Более весомый вклад в формирование смерча вносит распределение скорости и направления ветра по высоте, создающее условия для завихренности [5, 13]. В Рыльске, Льгове и Курске смерчи усиливались после прохождения через пойму р. Сейм, но

в Коньшевском и Касторенском районах вблизи следов прохождения смерча значительных водных объектов нет, поэтому их наличие не является определяющим фактором.

Существующее ПО Гимет-2010 ДМРЛ-С не обеспечивает корректную диагностику смерчей, возможно, из-за довольно грубого осреднения по анализируемым объемам или из-за меньших значений параметров облачности по сравнению с США, где торнадо изучают уже много лет и чьи данные в основном используются. Но понятно, что просто снизить пороговые значения параметров облачности – не выход, так как это приведет к большому числу "ложных тревог". Общий признак во всех изученных случаях – резкий рост высоты облачности в момент, близкий ко времени формирования торнадо (до 2.3–5.4 (10) км за 10–20 мин), и который, возможно, стоит включить в алгоритм их распознавания. Наблюдаемое увеличение высоты облака на 10 км за 10 мин 01.06.2020 в Белгородском районе мы посчитали программной ошибкой, но это не отменяет самого факта "взрывного" роста Св.

По мнению автора, необходимо в программном обеспечении диагноза "вторичных" продуктов ДМРЛ-С "встраивать" данные численной модели, при этом на реальные облачные параметры, диагностированные локатором, будут накладываться данные численной модели, рассчитывающей значимые для смерча индексы конвективной неустойчивости [12] – комплексный показатель риска развития суперячеек (Supercell Composite Parameter, SCP), индекс обнаружения суперячеек (Supercell Detection Index, SDI), параметр значительного торнадо (Significant Tornado Parameter, STP) и др.

Производить расчет необходимо только при наличии определенного достигнутого критерия развития конвекции, но это должен быть критерий распознавания гроз не выше "R 30–70%", а может и ниже, так как 09.05.2019 в Рыльске визуально смерч был отмечен в срок 11.45 ч ВСВ, когда в 11.40 ч ВСВ в этом районе был отмечен только ливневый дождь. Или, наоборот, необходимость запуска дополнительного расчета определять прогностическими параметрами (CAPE, SCP, SDI, STP).

Учитывая, что на Европейской территории России (включая Курскую область) чаще всего в нашей стране отмечаются смерчи [8, 9, 11], и эта же территория сейчас наиболее полно освещается радиолокационными данными, необходимо создание базы отмеченных явлений (торнадо) для последующего обобщения и анализа. Это поможет выработать более совершенные инструменты для обнаружения смерчей, что, учитывая нежелание государственных органов переходить на вероятностный прогноз ОЯ (из-за необходимости принимать решение о порядке действий на предупреждение), представляется задачей первостепенной важности.

Список литературы

1. Акт № 1 маршрутного обследования района распространения опасного природного явления (от 18.07.2022). Курск: Центрально-Черноземное УГМС, 2022. 2 с.

2. Акт № 2 маршрутного обследования района распространения опасного природного явления (от 19.09.2022). Курск: Центрально-Черноземное УГМС, 2022. 2 с.
3. Васильев А.А., Песков Б.Е., Снитковский А.И. Смерчи, шквалы и град 8–9 июня 1984 г. // *Метеорология и гидрология*. 1985. № 8. С. 3-15.
4. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 616 с.
5. Калинин Н.А., Шихов А.Н., Чернокульский А.В., Костарев С.В., Быков А.В. Условия возникновения сильных шквалов и смерчей, вызывающих крупные ветровалы в лесной зоне европейской части России и Урала // *Метеорология и гидрология*. 2021. № 2. С. 35-49.
6. Методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике: Третья редакция. М.: Росгидромет, 2019. 126 с.
7. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть I. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 702 с.
8. Снитковский А.И. Смерчи на территории СССР // *Метеорология и гидрология*. 1987. № 9. С. 12-25.
9. Чернокульский А.В. Смерчи в России: реальная угроза? // Троицкий вариант. Наука. 2021. № 10 (329).
10. Чернокульский А.В., Елисеев А.В., Козлов Ф.А., Коршунова Н.Н., Курганский М.В., Мохов И.И., Семенов В.А., Швець Н.В., Шихов А.Н., Ярынич Ю.И. Опасные атмосферные явления конвективного характера в России: наблюдаемые изменения по различным данным // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 5. С. 27-41.
11. Чернокульский А.В., Курганский М.В., Мохов И.И., Шихов А.Н., Ажигов И.О., Селезнева Е.В., Захарченко Д.И., Антонеску Б., Кюне Т. Смерчи в российских регионах // *Метеорология и гидрология*. 2021. № 2. С. 17-34.
12. Чернокульский А.В., Шихов А.Н., Ажигов И.О., Ерошкина Н.А., Корнев Д.П., Быков А.В., Калинин Н.А., Курганский М.В., Павлюк Ю.Б., Спрыгин А.А., Ярынич Ю.И. Шквалы и смерчи на европейской территории России 15 мая 2021 г.: диагностика и моделирование // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 11. С. 71-90.
13. Charles A. Doswell III, Donald Burgess Tornadoes and Tornadic Storms: A Review of Conceptual Models.
14. Davies-Jones R. Tornadogenesis in Supercell Storms – what we know and what we don't know: National Severe Storms Laboratory, NOAA Norman, Oklahoma.
15. Wakimoto Roger M., Wilson James W. Non-supercell Tornadoes // *Monthly Weather Review*. 1989. Vol. 117, is. 6. P. 1113.

References

1. Акт № 1 маршрутного обследования района распространения опасного природного явления (от 18.07.2022). Курск, Central'no-CHernozemnoe UGMS, 2022, 2 p.
2. Акт № 2 маршрутного обследования района распространения опасного природного явления (от 19.09.2022). - Курск, FGBU «Central'no-CHernozemnoe UGMS», 2022, 2 p.
3. Vasil'ev A.A., Peskov B.E., Snitkovskiy A.I. Smerchi, shkvaly i grad 8-9 iyunya 1984 g. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 1985, no. 8, pp. 3-15 [in Russ.].
4. Vorob'ev V.I. Sinopticheskaya meteorologiya [Synoptic meteorology], Leningrad: Gidrometeoizdat publ., 1991, 616 p. [in Russ.].
5. Kalinin N.A., Shikhov A.N., Chernokul'skiy A.V., Kostarev S.V., Bykov A.V. Environments of Formation of Severe Squalls and Tornadoes Causing Large-scale Windthrows in the Forest Zone of European Russia and the Ural. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 2021, vol. 46, pp. 83-93. DOI: 10.3103/S1068373921020035.
6. Metodicheskie ukazaniya po ispol'zovaniyu informacii doplerovskogo meteorologicheskogo radiolokatora DMRL-S v sinopticheskoy praktike: Tret'ya redakciya. Moscow: Gidrometeoizdat publ., 2019, 126 p. [in Russ.].
7. Rukovodstvo po kratkosrochnym prognozam pogody. Chast' I. Leningrad: Gidrometeoizdat publ., 1986, 702 p. [in Russ.].

8. *Snitkovskiy A.I.* Smerchi na territorii SSSR [Tornadoes on the territory of the USSR]. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 1987, no. 9, pp. 12-25 [in Russ.].
9. *Chernokul'skiy A.V.* Smerchi v Rossii: real'naya ugroza? *Troickiy variant. Nauka*, 2021, vol. 329, no. 10, pp. 6-7 [in Russ.].
10. *Chernokul'skiy A.V., Eliseev A.V., Kozlov F.A., Korshunova N.N., Kurgansky M.V., Mokhov I.I., Semenov V.A., Shvets' N.V., Shikhov A.N., Yarinich Yu.I.* Atmospheric Severe Convective Events in Russia: Changes Observed from Different Data. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 2022, vol. 47, pp. 343-354. DOI: 10.3103/S1068373921020035.
11. *Chernokul'skiy A.V., Kurgansky M.V., Mokhov I.I., Shikhov A.N., Azhigov I.O., Selezneva E.V., Zakharchenko D.I., Antonescu B., Kuhne T.* Tornadoes in the Russian Regions. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 2021, vol. 46, no. 2, pp. 69-82. DOI: 10.3103/S1068373921020023
12. *Chernokul'skiy A.V., Shikhov A.N., Azhigov I.O., Eroshkina N.A., Korenev D.P., Bykov A.V., Kalinin N.A., Kurgansky M.V., Pavlyukov Yu.B., Sprygin A.A., Yarinich Yu.I.* Squalls and Tornadoes over the European Territory of Russia on May 15, 2021: Diagnosis and Modeling. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 2022, vol. 47, no. 11, pp. 867-881. DOI: 10.3103/S1068373922110073
13. *Charles A. Doswell III, Donald Burgess.* Tornadoes and Tornadic Storms: A Review of Conceptual Models.
14. *Davies-Jones R.* Tornadogenesis in Supercell Storms – what we know and what we don't know: National Severe Storms Laboratory, NOAA Norman, Oklahoma.
15. *Wakimoto Roger M., Wilson James W.* Non-supercell Tornadoes. *Monthly Weather Review*, 1989, vol. 117, no. 6, pp. 1113.

*Поступила 05.10.2022; одобрена после рецензирования 30.05.2023;
принята в печать 13.06.2023.*

*Submitted 05.10.2022; approved after reviewing 30.05.2023;
accepted for publication 13.06.2023.*