

ГЛАСНИК СРПСКОГ ГЕОГРАФСКОГ ДРУШТВА
BULLETIN OF THE SERBIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY
ГОДИНА 2013. ЦВЕСКА ХСIII- Бр. 2
YEAR 2013 TOME ХСIII - N^o 2

Original Research Article

UDC 551.515.3(497.11)
DOI: 10.2298/GSGD1302055M

LANDSPOUT ACROSS NOVI BEOGRAD, 24 MAY 2012 – SYNOPTIC ANALYSIS

JOVAN MIHAJLOVIĆ¹, VLADAN DUCIĆ^{1*}, DRAGAN BURIĆ², RADE IVANOVIĆ¹, DUŠAN RISTIĆ³

¹University of Belgrade – Faculty of Geography, Studentski trg 3/3, Belgrade, Serbia

²Hydrometeorological Service of Montenegro, IV proleterske 19, Podgorica, Montenegro

³Republic Hydrometeorological Service of Serbia, Kneza Višeslava 66, Belgrade.

Abstract: In this study we have analysed a case of the landspout across Novi Beograd on 24 May 2012. We have used a synoptic analysis method in the research and the description of the landspout event is based on visual evidence and photographs. According to the available data, it can be concluded that there were favourable conditions for a landspout development since there was a process and an increased amount of instability. The landspout occurred within the northeast stream which moved over Belgrade and further toward the southeast and west. Based upon synoptic data analysis, it can't be said that there was a cold air advection. Surface air was warm enough, but not the air in the upper layers of the atmosphere. The conditions for a landspout development were favourable – high relative air humidity and increased vertical and horizontal air currents.

Key words: landspout, non – supercell tornado, synoptic analysis, cumulonimbus (Cb), Novi Beograd

Introduction

Tornadoes are usually associated with large – scale parent vortices, such as mesocyclones in supercells, and ordinary cells that are often in lines (Davies – Jones et al., 2001). Those that form in ordinary cells often derive their vorticity from preexisting vorticity in the boundary layer (Wakimoto and Wilson, 1989; Lee and Wilhelmson, 1997), begin near the ground first and build upward. They visually look like many Florida waterspouts; for that reason they are sometimes called „landspouts“ (Bluestein, 1985; Brady and Szoke, 1989).

The term „landspout“ is slang for the non – supercell tornado. According to the American Meteorological Society definition, a landspout is:

1. (Rare) A tornado.
2. Colloquial expression describing tornadoes occurring with a parent cloud in its growth stage and with its vorticity originating in the boundary layer.

The parent cloud does not contain a preexisting midlevel mesocyclone. The landspout was so named because it looks like a weak, Florida Keys waterspout over land.

During the late 1980s and early 1990s researchers documented a phenomenon with subtle differences from traditional tornadoes and waterspouts, referred to as the landspout (Seargent D.A.J., 1994; Brady and Szoke, 1988, 1989; Bluestein H.B., 1985). The term „landspout“ was actually coined by Bluestein (1985) when he observed this type of vortex

* E-mail: vladan@gef.bg.ac.rs

along an Oklahoma squall line. The landspout lies somewhere on the spectrum between a tornado and a waterspout, and most closely resembles a waterspout over land. Landspouts are not associated with a supercell thunderstorm. At times lightning and thunder are also absent from the parent cloud (Seargent D.A.J., 1994), which is usually a rapidly developing cumulonimbus (CB) or towering cumulus (TCU) (Brady and Szoke, 1998).

While there remains much uncertainty about how the tornado itself actually forms, it has generally been regarded that the most straightforward tornadogenesis mechanism occurs with the nonsupercell tornado, or "landspout". Earlier work based on radar studies by Brady and Szoke (MWR 1989) and Wakimoto and Wilson (MWR 1989) agreed on the following scenario for the development of a nonsupercell tornado: 1) a circulation (vorticity already in the vertical) develops along a stationary or quasi-stationary boundary, often before any clouds of consequence have developed with said boundary; 2) if a developing cumulonimbus cloud forms over the circulation, stretching associated with the developing storm's updraft concentrates the circulation into a tornado. While there may be other factors, such as a contribution to the vertical vorticity by the upward tilting of baroclinically generated low-level vorticity associated with the boundary, the most important implication of the scenario for landspout development was that the tornado would form in the active updraft stage of the developing storm, quite possibly before much, if any, precipitation had fallen. The process is deemed "simple" because the ambient vorticity is already in the vertical, compared to the more complex processes involved in getting low-level vertically oriented near-ground vorticity in a supercell storm.

When a convergence boundary containing large values of cyclonic relative vorticity is present on the eastern Colorado Plains, tornadoes can occur under less than ideal synoptic conditions traditionally associated with supercell tornadoes (Szoke and Augustine, 1990). Most landspouts have been documented in eastern Colorado, initiating along intersecting convergence lines (Brady and Szoke, 1988). These intersecting convergence lines are already established well before TCU develops. The TCU develops over the convergence axis due to enhanced localized convergence. As the updraft strengthens, vortex tubes are stretched vertically beneath the TCU giving rise to the landspout.

Landspout development can be better observed using the empiric model shown in Figure 1. „This type of tornado (landspout) occurs when a convective cloud develops across the strong localized vortex in the boundary layer. These vorticity maxima are usually grouped along the convergence line where convective updraft occurs, necessary for cloud development. Yet, a cloud may develop from other reasons and can be located on the convergence line. Also, surface vortices may be caused by other factors, for example, by orography“ (Ćurić M., 2001). No matter what causes the development of a cloud or a vortex, a landspout can develop as it is shown in Figure 1. „The shrinking term in the vertical component of vorticity equation (ζw_z) is responsible for that. Strong vorticity stretching occurs during the strong convergence, where $w \approx 1 - 10$ m/s beneath the cloud base, and $w=0$ on the Earth. The landspout developed in such way is formed upward, until it is connected to the cloud base“ (Ćurić M., 2001).

„Vertical vorticity may develop within convective clouds because of the horizontal vorticity conversion into vertical one (term $\xi w_y + \eta w_x$). This happens in the updraft of Cu. Because of the advection term ($v \cdot \nabla \zeta$) and/or stretching term, it may happen that the updraft should be at the same place with one of the vorticity maxima. As the supercell mesocyclone creates favourable conditions for a tornado development, thus the rotating updraft within the smaller Cu favours the landspout development. If the updraft is rotating, then it represents an additional source of vorticity for a surface vortex at the convergence line beneath the cloud“ (Ćurić M., 2001).

In stage A, a convergence zone with pronounced cyclonic horizontal wind shear is present. By stage B, TCU (or CB) begin rapidly developing along or nearby the boundary. Coincidental location of the TCU updraft over a mesocyclone (ie. < 4 km wide circulation, Fujita, 1981) results in landspout formation at stage C.

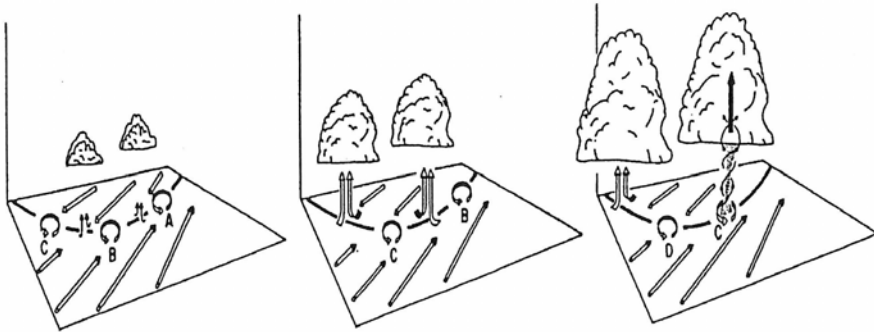


Figure 1. Schematic model of the development of a landspout. The realtive solid dashed line is the convergence zone with pronounced cyclonic vorticity and horizontal wind shear. Low – level mesocyclones (Fujita T.T., 1981) are labeled with letters A-D. Figure reproduced from Wakimoto and Wilson (1989).

Although the development of a typical landspout appeared then to be fairly straightforward; circulation develops along a boundary, cloud grows above circulation, tornado forms; the implications of the nonsupercell tornado life cycle for warning or short-term forecasting of the event were perhaps not so simple. Because the circulation formed from the near-surface and grew upwards, in the absence of any midlevel circulation, any Doppler radar signal would first be present at low levels. These levels, in fact, might be so low, and the size of the developing circulation so small (compared to a well-developed mesocyclone at midlevels in a supercell) that the effective range of being able to see the important features with a radar might only be 60 to 100 km. Still, as Brady and Szoke pointed out, one could use the fact that landspouts formed along a boundary in the early but generally rapid growing stages of a cell as a key to focusing on a fairly restricted area for potential landspouts.

Landspouts most often occur in drier areas with high-based storms and considerable low-level instability. They generally are smaller and weaker than supercell tornadoes, though many persist in excess of 15 minutes and some have produced F3/EF[†]-3 damage. They bear an appearance and generative mechanism highly similar to that of waterspouts, usually taking the form of a translucent and highly laminar tube. Visually, the tornado will be wider at the bottom and more narrowed as it reaches higher in the sky. Most often, they are first seen as dust whirls at the ground before finally being pulled into the parent cloud above.

The landspouts are most typical in Colorado and adjacent points in the high plains and often occur earlier in the day as storms are in their early forming stages. Bluestein hypothesized that the mechanism of vortex development might be related to local stretching of vorticity by intersecting outflows (Bluestein, 1985; Holle and Maier, 1980; Weaver and Nelson, 1982; Simpson et al., 1986). Brady and Szoke (1988) presented an example of a Colorado landspout and its similarity to the waterspout.

[†] EF, (Enhanced Fujita Scale) – Recently Fujita scale has been replaced by Enhanced Fujita Scale, EF – scale, which represents an official system for a tornado strength estimate. This scale was introduced by McDonald (2002).

Landspouts occur mostly in the hotter summer months when the heat creates a lot of low level instability. Although non – supercell tornadoes have been studied for years, our understanding of them is rather diffusive. It has been suggested that these tornadoes are small and weak and that they do not represent a serious threat. Most often they remain within the EF – 0 to EF – 1 ratings. However, a case was reported which caused F3 damage (Forbes and Wakimoto, 1983), as well as F4 damage (Wakimoto, 1983).

Summary of past studies

Vorticity motion of air masses in the form of a landspout is quite rare for Serbia. It appears in relatively small areas and it is most often limited to a few – hour period. Motion trajectories are also significantly shorter than those of tornadoes, for example. Contrary to their spatial and temporal limits, they may cause considerable damage (Radovanović M., 2009).

Anđelković G., (2009) emphasizes that the first reported case of a landspout in Serbia, which was thoroughly and scientifically described, occurred in July 1977 in the vicinity of the village Negbina (Nova Varoš).

A very characteristic event of severe weather occurred on 10 July 1977 across the area of the village Negbine, Nova Varoš. A thunderstorm cloud caused the development of the landspout vortex with the hurricane wind strength. Some wind gusts within the vortex could reach the speed range from 300 to 400 km/h. The width of the area affected by the landspout was 100 m and the length was 10 to 15 km. On its way, the landspout practically destroyed everything above the land surface (Maksimović S., 1987).

Ducić and Tanasijević (1993) provide a detailed description of the landspout reported in the vicinity of Valjevo in 1992.

The landspout appeared on 10 July 1992 at half past three in the afternoon. It swept over the villages Paune and Rajković (about 10 km southeast of Valjevo). The severe weather lasted about ten minutes and it was caused by the passing of the cold front coming from the southwest. According to the data from Petnica (6-7 km northwest from the village of Paune), the amount of precipitation was less than that in the surrounding area, and according to the local people reports, during the landspout event in the village of Paune there was a moderate rainfall (Ducić V., Tanasijević Z., 1993).

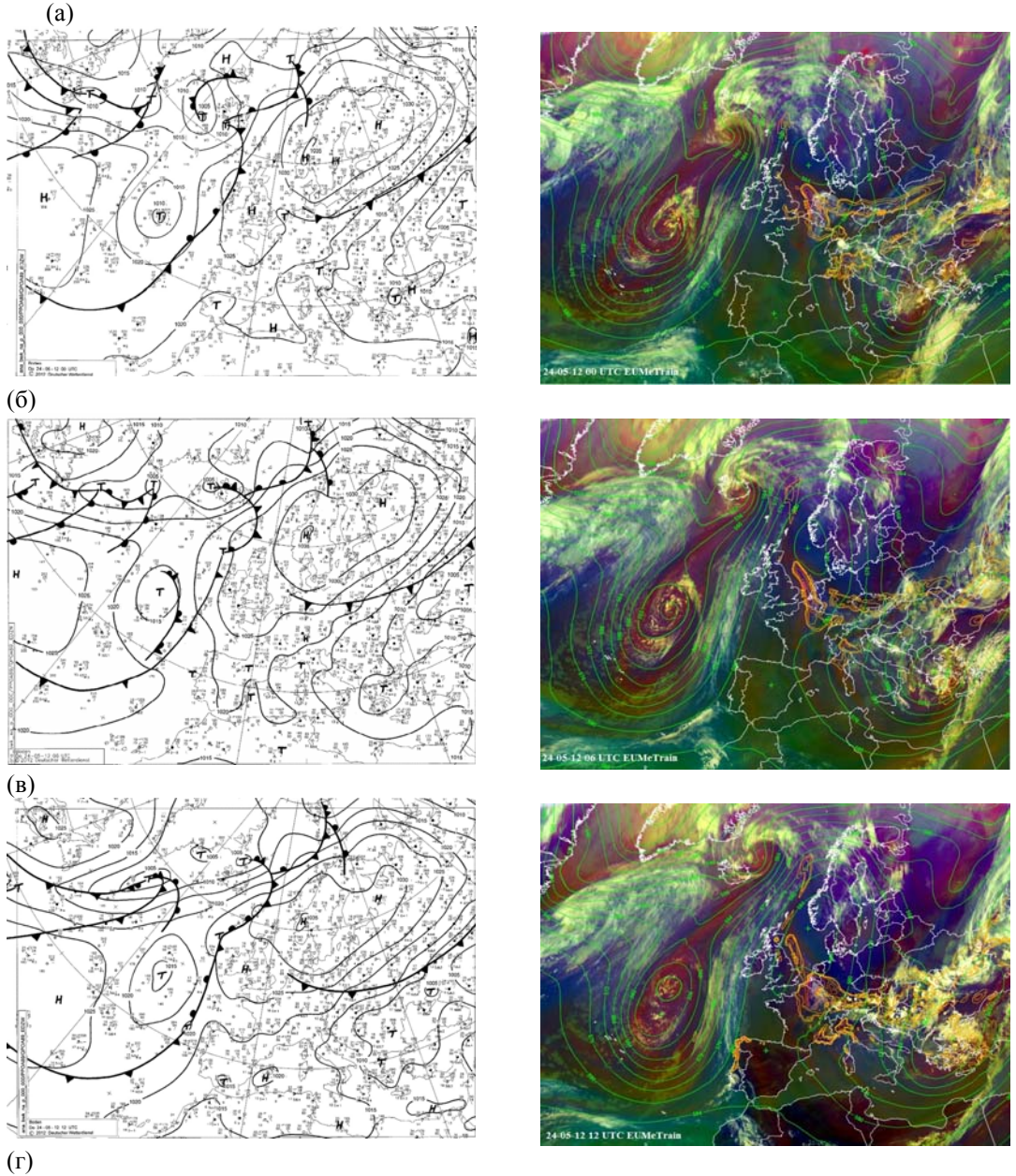
Radovanović M., (2009) analysing the landspout case nearby Indija on 6 June 2008, provides a hypothesis which associates processes on the Sun with the landspout event.

„It appeared that on the regional level, there is foundation for connection between the above mentioned processes. The received statistic results go in favour of the justification of the heliocentric hypothesis on the formation of cyclonic movements, but only on global level. However, on the local level, according to the available satellite measurement, as well as theoretic knowledge, it is not possible to prove the way in which smaller beams of solar wind separate from the main jet. This explanation presents possible potential clarification of the waterspout development, but for the above mentioned approach it is necessary to develop a model which could suggest when and where the cyclonic movement of this type may happen.“ (Radovanović M., 2009).

Synoptic analysis

On 24 May 2012 synoptic situation over Europe (surface and upper – level atmospheric structure) was rather complex (Figure 2). The ridge of a large and strong anticyclone at the surface, with the centre over Scandinavia, stretched southwest to the Bay of Biscay. Two primary cyclones existed south and southeast from this baric creation.

The cyclone was quite shallow over the Aegean Sea, while the cyclone was deeper and larger over Kavkaz. In the rear part of the eastern depression, where there was an advection of the cold air coming from the northeast, a cold front was moving toward the Pannonian Plain and Balkan Peninsula. The depression over the Atlantic, west from Ireland and Brittany, although deep and large, had no effect on the weather in Serbia on that day.



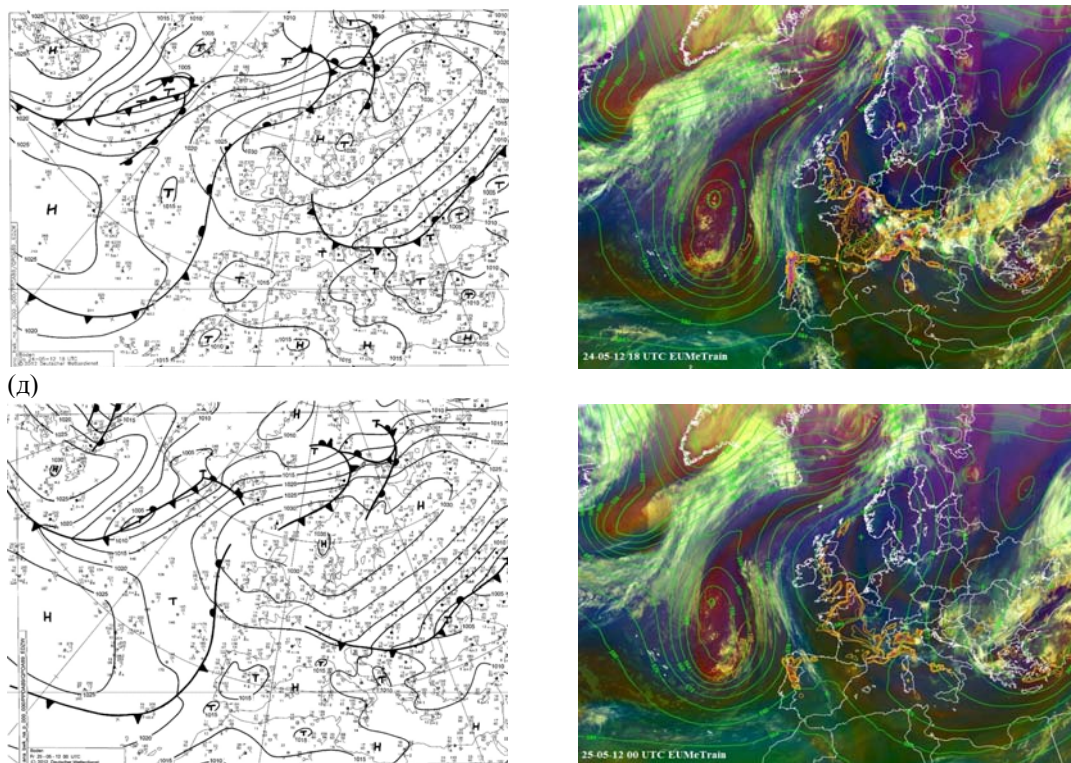
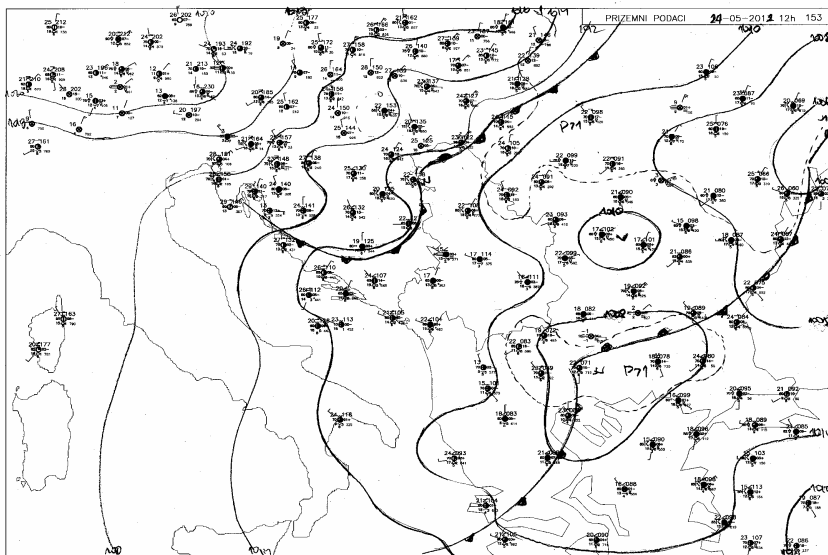


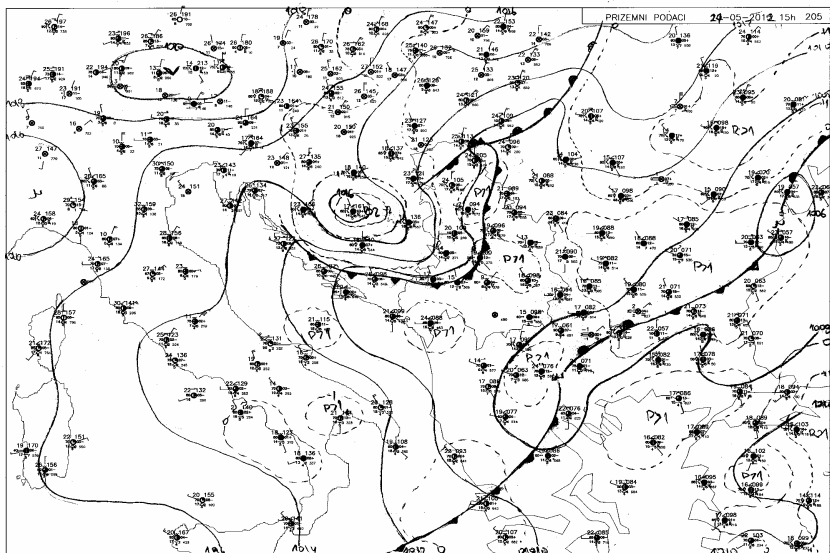
Figure 2. Surface (left) and 500 hPa (right) weather maps: (a) 24.05.2012. at 00 UTC, (b) 24.05.2012. at 06 UTC, (c) 24.05.2012. at 12 UTC, (d) 24.05.2012. at 18 UTC, (e) 25.05.2012. at 00 UTC

The structure of the atmosphere was similar in the upper layers (500 hPa weather maps, right hand part of Figure 2): high pressure field over Scandinavia, while the axis of upper – level trough stretched from the northeast to the southwest. Surface southeast stream within the cyclone over the Aegean Sea, which was gradually filling up during the day, caused the increase of moisture and instability of the frontal wave which was moving towards the southwest and west. In the late afternoon the cold front moved over the north and central parts of Serbia, and a severe thunderstorm in Belgrade was off and on from 17 to 20 CET. Next day, in the final stage of the cyclone development northeast of Serbia, the occluded front disappeared

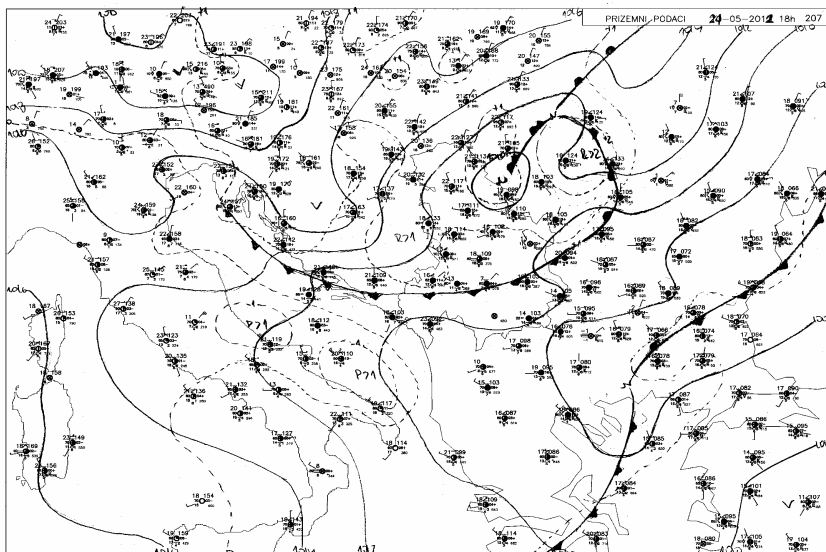
On the surface maps with a better resolution (Figure 3), the secondary baric creations and the complexity of isobaric relief are seen. Surface weather map at 12 UTC shows that there was a weak divergence field over the Wallachian Plain , which increased the instability of the atmosphere together with the cyclone over the Aegean Sea. According to the data from 15 UTC, the ridge of the low – level field of a slightly elevated atmospheric pressure, whose centre is over Slavonia, stretched to the central parts of Serbia. On the next surface map (18 UTC), the cold front line is stretching from northern parts of Montenegro to southern parts of Serbia. In the northern and central parts of Serbia the pressure is rising, weak wind is blowing, mostly from western parts, and fog is registered at some stations.



(1)



(2)



(3)

Figure 3. Surface weather maps: (1) 24.05.2012. at 12 UTC, (2) 24.05.2012. at 15 UTC, (3) 24.05.2012. at 18 UTC

Figure 4 shows the weather conditions in Serbia at synoptic periods: 12, 15 and 18 UTC. Thunderstorm processes in Belgrade started at early hours in the morning. According to the data from 12 UTC (14 CET), air temperature was 22°C , cloudiness 6/8, there was occasional light rain followed by thunderstorm processes, weak northeast wind was blowing and the height of the lower cumulonimbus (Cb) base was at 400 – 500 m. After three hours (15 UTC), the weather didn't significantly change, except that the atmospheric pressure dropped for 1,3 mb and was 1009,4 mb, and the northeast wind became slightly stronger. The tendency of pressure dropping pointed to the presence of a rather warm air mass, which was gradually cooling causing the increase of atmospheric instability. According to the data from 18 UTC, the pressure tendency is positive and is 1,5 mb. This fact and the temperature drop of 4°C relative to the period of three hours ago, points to the fact that the cold front has already moved over Belgrade, in other words, it points to the cold air advection. According to the weather conditions on that day, it was probably a cold front type II and the landspout developed during the passing of the cold front over Belgrade, between 17 and 18 CET.

There is a strong air turbulence and wind shear (a sudden change of wind direction) in the front part of the cumulonimbus. The main source of energy for landspout development is located exactly in that part of Cb cloud, where turbulence reaches huge speeds. Warm and moist air rises and it is lifted up by the updraft in Cb. At the same time, there is a strong downdraft in that part of the cloud, bringing cold and moist air. This convergence of warm air in the updraft and cold air in the downdraft causes the development of a rotating cloud and a low pressure area acting as a vacuum cleaner and forming a cloud column descending to the surface. There are three necessary conditions for a landspout development: a high vertical temperature gradient (a sudden drop in temperature with height), increased relative humidity at the surface and a sudden wind shear. The changes of meteorological parameters with height (air temperature, atmospheric pressure, dew point and wind speed direction) on the emagram (Figure 5 left), taken from TEMP report, show those conditions. CAPE index

with the values of 1500 – 2000 J/kg (Figure 5 right), also indicates that there were favourable conditions for Cb clouds development and a strong instability energy in that part of Serbia .

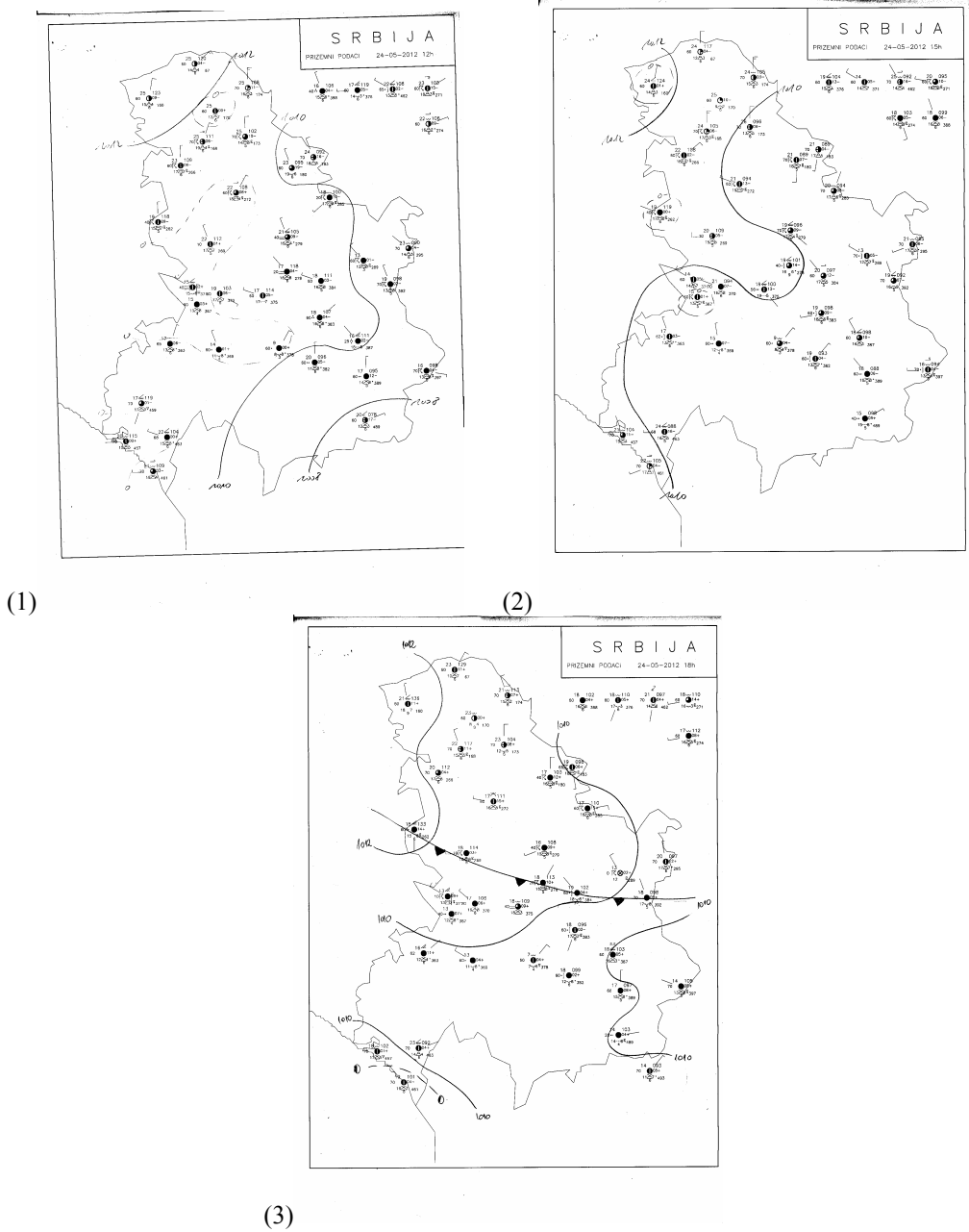


Figure 4. Surface weather maps: (1) 24.05.2012. at 12 UTC, (2) 24.05.2012. at 15 UTC, (3) 24.05.2012. at 18 UTC

Conclusion

During the landspout event, the Balkan Peninsula and the Pannonian Plain were under the influence of the high northeast stream and the moist unstable air mass. Frontal cloud systems were shifting across the north and central parts of Serbia causing precipitation, rain showers and thunders, as well as strong wind from the northeast. The severe weather in Belgrade was off and on from 17 to 20 CET. The precipitation amount was 3 l/m² in Surčin, and 23 l/m² in the down – town section.

Based upon the synoptic data analysis, there were favourable conditions for the landspout development, since there was a process and an increased amount of instability. That increased amount of instability was more important than the current synoptic situation, since there was the northeast stream which formed as a part of the rear side depression, but it would have to be analysed in detail, especially 500 hPa weather maps and the temperature gradient, for example.

Thus, the landspout occurred within the northeast stream which moved over Belgrade and further toward the southeast and west. Based upon the synoptic data analysis, it can't be said that there was a strong cold air advection, which means that the surface air was warm enough, but not the air in the upper layers of the atmosphere (high vertical temperature gradient), high relative air humidity and increased horizontal and vertical air currents, in other words, the favourable conditions for the landspout development.

Reference

- Анђелковић, Г. (2009). *Екстремне климатске појаве у Србији*. Београд: Географски факултет, докторска дисертација
- Bluestein, H.B. (1993). *Synoptic – Dynamic Meteorology in Midlatitudes, Volume II: Observations and Theory of Weather Systems*. New York: Oxford University Press.
- Bluestein, H.B. (1985). The formation of a „landspout“ in a „broken – line“ squall line in Oklahoma. *Preprints, Fourteenth Conf. on Severe Local Storms, Indianapolis, AMS (Boston)*, 267 – 270.
- Brady, R.H., Szoke, E.J. (1989). A case study of nonmesocyclone tornado development in northeast Colorado: Similarities to waterspout formation. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 843 – 856.
- Brady, R.H., Szoke, E.J. (1988): The landspout – A common type of northeast Colorado tornado. *Preprints, Fifteenth Conf. on Severe Local Storms, Baltimore, AMS (Boston)*, 312 – 315.
- Davies, J.M. (1993). Hourly helicity, instability, & EHI in forecasting supercell tornadoes. *Preprints, Seventeenth Conf. on Severe Local Storms, St. Louis, AMS (Boston)*, 107 – 111.
- Davies – Jones, R.P. (1984). Streamwise vorticity: The origin of updraft rotation in supercell storms. *J. Atmos. Sci.*, 41, 2991 – 3006.
- Davies-Jones, R. P., Trapp, R. J., Bluestein, H. B. (2001). Tornadoes. *Severe Convective Storms, Meteor. Mongr.*, No. 50, *Amer. Meteor. Soc.*, 167–221.
- Дуцић, В., Танасијевић, З. (1993). Појава тромбе у ваљевском крају. *Гласник Српског географског друштва* 73 (1), 25 – 32.
- Forbes, G.S., Wakimoto, R.M. (1983). A concentrated outbreak of tornadoes, downbursts, and microbursts, and implications regarding vortex classifications. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 220 – 235.
- Fujita, T.T. (1981). Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *J. Atmos. Sci.*, 38, 1511 – 1534.
- Hart, J.A., Korotky, W.D. (1991). *The SHARP Workstation – v1.50. A Skew – T/Hodograph Analysis and Research Program for the IBM and Compatible PC. User's manual*. Charleston, WV: NOAA/NWS Forecast Office.
- Hintz, L.D., Bunkers, J.M. (1995). Examination of an apparent landspout in the eastern Black Hills of western South Dakota. *Central region technical attachment* 95 – 08.
- Holle, R.L., Maier, M.W. (1980). Tornado formation from downdraft interaction in the FACE mesonet network. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1010 – 1027.
- Johns, R.H., Davies, J.M., Leftwich, P.W. (1993): Some wind and instability parameters associated with strong and violent tornadoes. Part II: Variations in the combinations of wind and instability parameters. *The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards. Geophys. Monogr., Amer. Geophys. Union*, 583 – 590, No. 79, 583 – 590.
- Klemp, J.B. (1987). Dynamics of tornadic thunderstorms. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 19, 369 – 402.

- Lee, B. D., Wilhelmson, R. B. (1997). The numerical simulation of nonsupercell tornadogenesis. Part II: Evolution of a family of tornadoes along a weak outflow boundary. *J. Atmos. Sci.*, 54, 2387–2415.
- Lemon, L.R., Doswell III, C.A. (1979). Severe thunderstorm evolution and mesocyclone structure as related to tornadogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1184–1197.
- Максимовић, С. (1987). Место и улога метеорологије у заштити од елементарних непогода. Елементарне непогоде и катастрофе, Институт за водопривреду „Јарослав Чернић“, Београд.
- Радовановић, М. (2009). Тромба код Инђије- анализа случаја 06. јуна 2008. године. *Гласник Српског географског друштва* 89(4), 295-304.
- Seargent, D.A.J. (1994). Landspout! *Weatherwise*, June – July, 37 – 38.
- Simpson, J., Morton, B.R., McCumber, M.C., Penc, R.S. (1986). Observation and mechanisms of GATE waterspouts. *J. Atmos. Sci.*, 43, 753 – 782.
- Szoke, E.J., Augustine, J.A. (1990). A decade of tornado occurrence associated with a surface mesoscale flow feature – The Denver cyclone. *Preprints, Sixteenth Conf. on Severe Local Storms, Kananaskis Park, Alberta, Canada, AMS (Boston)*, 554 – 559.
- Szoke, E.J., Pietrycha, A. (1998). The Landspout Life Cycle: Maybe Not as Simple as Previously Thought. *19th Conference on Severe Local Storms, AMS*, 68 – 71.
- Ђурић, М. (2001). *Динамика облака*. Београд: ПХМЗ Србије.
- Wakimoto, R.M. (1983). The West Bend Wisconsin storm of 4 April 1981: A problem in operational meteorology. *J. Climate Appl. Meteor.*, 22, 181 – 189.
- Wakimoto, R.M., Wilson, J.W. (1989). Non – supercell tornadoes. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 1113 – 1140.
- Weaver, J.F., Nelson, S.P. (1982). Multiscale aspects of thunderstorm gust fronts and their effects on subsequent storm development. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 707 -718.
- Weisman, M.L., Klemp, J.B. (1986). Characteristics of isolated convection. *Mesoscale Meteorology and Forecasting*. P.S. Ray, Ed., AMS, Boston, 331 – 358.
- Weisman, M.L., Klemp, J.B. (1984). The structure and classification of numerically simulated convective storms in directionally varying wind shears. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 167 – 170.
- Weisman, M.L., Klemp, J.B. (1982). The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 504 – 520.
- Wilson, J.W. (1986). Tornadogenesis by nonprecipitation induced wind shear lines. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 270 – 284.
- <http://glossary.ametsoc.org>
- <http://www.hidmet.gov.rs>
- <http://www.serbianmeteo.com>
- <http://www.tornadoalleylive.com>

ПОЈАВА ТРОМБЕ НА НОВОМ БЕОГРАДУ 24. МАЈА 2012. ГОДИНЕ – СИНОПТИЧКА АНАЛИЗА

ЈОВАН МИХАЛЛОВИЋ¹, ВЛАДАН ДУЦИЋ^{1*}, ДРАГАН БУРИЋ², РАДЕ ИВАНОВИЋ¹,
ДУШАН РИСТИЋ³

¹ Универзитет у Београду – Географски факултет, Студентски трг 3/3, Београд, Србија

² Хидрометеоролошки завод Црне Горе, IV пролетерске 19, Подгорица, Црна Гора

³ Републички хидрометеоролошки завод Србије, Београд, Кнеза Вишеслава 66, Београд.

Сажетак: У раду је приказан случај појаве тромбе 24.05.2012. на Новом Београду. У истраживању је коришћен метод синоптичке анализе, а опис појаве тромбе темељи се на визуелном опажању и фотографијама. Према расположивим подацима може се закључити да су услови за развој тромбе били повољни, јер је постојао и процес и повећана енергија нестабилности. Тромба се јавила у склопу североисточне струје која се премештала преко Београда даље на југозапад и запад. На основу анализе синоптичког материјала, не може се рећи да се радило о адвекцији јако хладног ваздуха. Било је довољно топлоте у приземљу, али не и по висини. Постојали су повољни услови за настанак тромбе - висока влажност ваздуха, изражена вертикална и хоризонтална струјања.

Кључне речи: тромба, несуперхелијски торнадо, синоптичка анализа, кумулонибус (Cb), Нови Београд

Увод

Торнада су често повезана са већим вртлозима родитељима, као што су мезоциклони у суперхелијама и обичним хелијама које су често у линијама (Davies – Jones et al., 2001). Она која се јављају у обичним хелијама често добијају своју вртложност из већ постојеће вртложности у граничном слоју (Wakimoto and Wilson, 1989; Lee and Wilhelmson, 1997), настају близу тла и дижу се увис. Визуелно личе на водене пијавице на Флориди и из тог разлога их понекада зову „копненим пијавицама“ (Bluestein, 1985; Brady and Szoke, 1989).

Термин тромба је сленг за несуперхелијски торнадо. Према дефиницији Америчког метеоролошког друштва (American Meteorological Society - AMS), тромба је:

1. (ретко) Торнадо.
2. Колоквијални израз који описује торнада која се јављају са облаком родитељем у његовој фази раста и са вртложношћу која настаје у граничном слоју.

Облак родитељ не садржи мезоциклон средњег нивоа. Тромба је тако названа јер личи на слабу водену пијавицу из Флориде Киза на копну.

Током касних 1980-их и раних 1990-их истраживачи су документовали један феномен са суптилним разликама у односу на традиционални торнадо и водену пијавицу, тромбу (Seargent D.A.J., 1994; Brady and Szoke, 1988, 1989; Bluestein H.B., 1985). Термин „тромба (*landspout*)“ је заправо сковао Bluestein (1985) када је посматрао овај тип вртлога дуж линије нестабилности у Оклахоми. Тромба се налази негде између торнада и водене пијавице и највише подсећа на водену пијавицу изнад копна. Тромбе нису повезане са суперхелијском олујом. Понекад нема муње у облаку родитељу (Seargent D.A.J., 1994), већ се овде ради о кумулонибусу (CB) који се брзо развија или облаку cumulus congestus (TCU) (Brady and Szoke, 1998).

* E-mail: vladan@gef.bg.ac.rs

Док још увек има много нејасноћа о томе како се формира торнадо, генерално се сматра да се најјаснији механизам тоднадогенезе одиграва код несуперхелијског торнада, или тромбе. Ранији рад базиран на радарским студијама Brady and Szoke (MWR 1989) и Wakimoto and Wilson (MWR 1989) у сагласности је са следећим

сценаријом за развој несуперћелијског торнада : 1) циркулација (вртложност већ по вертикали) се развија дуж стационарне или квази-стационарне границе често пре формирања било каквих облака у оквиру поменуте границе; 2) ако дође до формирања кумулониimbusа изнад ове циркулације, ширење повезано са развојем узлазних струја олује концентрише ову циркулацију у торнадо. Док могу постојати и други фактори, као што је допринос вертикалној вртложности од стране узлазног нагиба бароклине генерисане вртложности ниског нивоа повезане са границом, најважнија импликација овог сценарија за развој тромбе је била да ће се торнадо формирати у активној фази узлазних струја олује у настанку највероватније пре било каквих падавина, ако их уопште буде. Овај процес се сматра једноставним јер је амбијентална вртложност већ вертикална у поређењу са комплекснијим процесима који су укључени у вертикалну вртложност ниског нивоа оријентисану ка тлу код несуперћелијске олује.

Када је присутна граница конвергенције која садржи велике вредности циклонске релативне вртложности на источним равницама Колорада, може доћи до појаве торнада и у мање идеалним синоптичким условима који су обично повезани са суперћелијским торнадима (Szoke and Augustine, 1990). Већина тромби је забележена у источном делу Колорада, а настајале су дуж пресека линија конвергенције (Brady and Szoke, 1988). Ове конвергентне линије које се секу настају пре него што се TCU развије. TCU се развија изнад осе конвергенције због појачане локализоване конвергенције. Како јача узлазна струја, вртложни левак се шири вертикално испод TCU и тако настаје тромба.

Формирање тромбе се може боље разматрати коришћењем емпиријског модела на слици 1. „Овај тип торнада (тромбе) се јавља када се развија конвективни облак изнад места са локално израженим вртлогом у граничном слоју. Обично су ови максимуми вртложности поређани дуж линије конвергенције, дуж које се ствара конвективно дизање неопходно за развој облака. Ипак, облак се може развијати и из других разлога и бити лоциран на линији конвергенције. Такође, вртлози у приземљу могу бити условљени другим факторима, нпр. орографијом“ (Ђурић М., 2001). Независно од тога који је узрок развоја облака и вртлога може доћи до развоја тромбе, као што је приказано на сл. 1. „За то је одговоран члан скупљања у вертикалној компоненти једначине вртложности (ζw_z). Снажно издуживање вртлога се јавља на месту јаке конвергенције, где је испод базе облака $w \approx 1 - 10 \text{ m/s}$ а на Земљи је $w=0$. Тромба развијена на овај начин се формира од тла навише, док се не споји са базом облака“ (Ђурић М., 2001).

„Код конвективних облака вертикална вртложност се може појавити због претварања хоризонталне вртложности у вертикалну (члан $\zeta w_y + \eta w_x$). То се дешава на месту узлазне струје код C_u . Због дејства члана адвекције ($v \cdot \nabla \zeta$) и/или растезања може се десити да се узлазна струја нађе на истом месту са једним од максимума вртложности. Као што мезоциклон суперћелијског облака ствара погодне услове за развој торнада тако и узлазна ротирајућа струја код мањих C_u погодује развоју тромбе. Ако је узлазна струја ротирајућа онда она представља додатни извор вртложности за вртлог који је створен у приземном слоју на линији конвергенције испод облака“ (Ђурић М., 2001).

У А фази је присутна зона конвергенције са наглашеним циклонским хоризонталним смицањем ветра. У фази В, TCU (или СВ) почиње брзо да се развија дуж или близу те границе. Подударна локација TCU узлазне струје изнад мезоциклона (тј. $< 4 \text{ km}$ широка циркулација, Fujita, 1981) резултира у формирању тромбе у фази С.

Слика 1. Шематски модел развоја тромбе. Релативно чврста непрекидана линија представља зону конвергенције са истакнутом циклонском вртложношћу и хоризонталним смицањем ветра.

Мезоциклони ниског нивоа (Fujita T.T., 1981) су обележени A-D. Репродукција слике од Wakimota and Wilsona (1989).

Развој типичне тромбе је прилично јасан: развија се циркулација дуж границе, долази до настанка облака изнад циркулације, формира се торнадо. Када су у питању упозорења или дугорочна прогноза, импликације несуперћелијског животног циклуса торнада можда и нису тако једноставне. Зато што се циркулација формира близу површине и расте увис, у одсуству било какве циркулације средњег нивоа, сигнал са Доплер радара је прво присутан у ниским нивоима. Ти нивои би могли бити толико ниски, а величина циркулације толико мала (у поређењу са развијеним мезоциклоном на средњим нивоима у суперћелији) да ефективан опсег могућности да се уоче важне карактеристике радаром може да износи само 60 – 100 km. Ипак, као што су Brady and Szoke истакли, чињеница је да се тромбе формирају дуж границе у раним генерално брзим фазама развоја ћелије, у прилично ограниченој области за потенцијалне тромбе.

Тромбе се најчешће јављају у сувљим областима са олујама високе базе и значајном нестабилношћу ниског нивоа. Оне су генерално мање и слабије од суперћелијских торнада, иако могу да трају и до 15 минута, а неке су произвеле F3/EF[‡]-3 штету. По изгледу и механизму настанка веома су сличне воденим пијавицама и обично имају облик провидне ламинарне цеви. Визуелно, торнадо је шири при дну и ужи како се диже ка небу. Тромбе се најчешће прво опажају као вртлози прашине на тлу пре него што буду повучене ка облаку родитељу.

Тромбе су најтипичније за Колорадо и суседна места у Високим равницама, а често се јављају рано током дана док се олује налазе у раним фазама формирања. Bluestein је изнео хипотезу да се механизам развоја вртлога може повезати са локалним растезањем вртложности пресецањем токова отицања (Bluestein, 1985; Holle and Maier, 1980; Weaver and Nelson, 1982; Simpson et al., 1986). Пример тромбе у Колораду и њену сличност са воденом пијавицом представили су Brady and Szoke (1988).

Тромбе се најчешће јављају у летњим месецима када топлота ствара велику нестабилност ниског нивоа. Иако се несуперћелијска торнадо истражују већ дуги низ година, наша сазнања о њима су прилично дифузна. Постоји претпоставка да су ова торнада мала и слаба и да не представљају озбиљну опасност. Најчешће се опсег штете креће у размаку од EF – 0 до EF – 1. Међутим, забележен је случај који је проузроковао штету јачине F3 (Forbes and Wakimoto, 1983), и случај F4 (Wakimoto, 1983).

Преглед досадашњих истраживања

Вртложна кретања ваздушних маса у виду тромбе представљају изузетно ретку појаву на простору Србије. Захватају релативно мале површине и најчешће су ограничене на период до неколико сати. Трајекторије њихових кретања су такође знатно краће у односу на нпр. торнада. Насупрот њиховој просторној и временској ограничениости, штете које изазивају могу бити знатне (Радовановић М., 2009).

Анђелковић Г., (2009) истиче да се први случај тромбе у Србији, који је детаљно научно описан, десио јула 1977. код села Негбина (Нова Варош).

Веома карактеристична појава непогоде јавила се 10. јула 1977. године изнад подручја села Негбине СО Нова Варош. Пролазак непогодског облака условио је стварање вртлога тромбе са орканском јачином ветра. Поједини удари ветра унутар

[‡] EF, (Enhanced Fujita Scale) – Појачана Фуџита скала. Недавно је Фуџита скала у САД замењена тзв. појачаном F – скалом (Enhanced Fujita Scale, EF – scale), која представља званични систем за процену јачине торнада. Ову скалу је увео McDonald (2002).

вртлога могли су достизати брзину између 300 и 400 km/h. Ширина подручја које је захватила тромба износила је 100 m а дужина 10 до 15 km. На свом путу тромба је практично поравнала све што је било изнад земљине површине (Максимовић С., 1987).

Дуцић и Танасијевић (1993) дају детаљан опис тромбе која је забележена 1992. у ваљевском крају.

Тромба се појавила 10.07.1992. године око 15^h и 30 минута. Захватила је село Пауне и део села Рајковић (десетак километара југоисточно од Ваљева). Невреме је трајало десетак минута и било је у вези са проласком хладног фронта са југозапада. Судаћи по подацима из Петнице (6-7 km северозападно од Пауна), количина падавина тог дана била је мања од оне у широј околини, а према изјавама мештана, приликом проласка тромбе у Паунама је падала умерена киша (Дуцић В., Танасијевић З., 1993).

Радовановић М., (2009) анализирајући случај тромбе код Инђије, 06. јуна 2008., износи хипотезу којом доводи у везу процесе на Сунцу са појавом тромбе.

„Показало се да на регионалном нивоу постоје основе за довођење у везу између наведених процеса. У прилог оправданости хелиоцентричне хипотезе о настанку циклоналних кретања говоре и добијени статистички резултати али на глобалном нивоу. Међутим, на локалном нивоу, према расположивим сателитским мерењима, као и теоријским сазнањима, није могуће доказати на који начин долази до одвајања мањих снопова Сунчевог ветра од главног млаза. Овакво тумачење представља могуће потенцијално објашњење развоја тромбе, али је за наведени приступ потребна разрада модела који би могао сугерисати када и где би до циклоналних кретања овог типа могло доћи“ (Радовановић М., 2009).

Синоптичка анализа

На дан 24.05.2012. године, синоптичка ситуација изнад Европе (приземна и висинска структура атмосфере) била је прилично сложена (слика 2). У приземљу се гребен пространог и јаког антициклона, чији је центар био изнад Скандинавије, пружао на југозападу до Бискајског залива. Јужно и југоисточно од ове баричке творевине, егзистирала су два примарна циклона.

Изнад Егејског мора био је плитак, док је циклон северно од Кавказа дубљи и пространији. У задњем делу источне депресије, где је постојала адвекција хладног ваздуха са североистока, кретао се хладни фронт ка Панонској низији и Балкану. Депресија изнад Атлантика, западно од Ирске и Бретање, иако дубока и пространа, тог дана није имала утицаја на време у Србији. Структура атмосфере је била слична и по висини (АТ 500 hPa, десни део слике 2): изнад Скандинавије поље високог ваздушног притиска, док је оса висинске долине преко Балкана имала правац пружања од североистока ка југозападу. Приземна југоисточна струја у склопу циклона изнад Егејског мора, који се током дана постепено попуњавао, условљавала је повећање влаге и нестабилност фронталног таласа који се премештао ка југозападу и западу. У касним поподневним сатима хладни фронт је прешао преко северне и централне Србије, а олујно невреме у Београду је било са прекидима од 17h до 20h. Наредног дана, у завршном стадијуму развоја циклона североисточно од Србије, ишчезао је и оклузовани фронт.

Слика 2. Приземне (лево) и висинске (десно) синоптичке карте: (а) 24.05.2012. у 00 UTC, (б) 24.05.2012. у 06 UTC, (в) 24.05.2012. у 12 UTC, (г) 24.05.2012. у 18 UTC, (д) 25.05.2012. у 00 UTC

На картама боље резолуције (слика 3), уочавају се секундарне баричке творевине и сложеност изобарског рељефа. Аналитичка карта од 12 UTC показује да

је изнад Влашке низије било благо дивергентно поље, које је уз циклон изнад Егејског мора повећавало нестабилност атмосфере. По подацима од 15 UTC, гребен приземног поља благо повишеног ваздушног притиска, чији је центар изнад Славоније, пружао се ка централној Србији. На следећој карти (18 UTC), линија хладног фронта се пружа преко северне Црне Горе и јужне Србије. У северној и централној Србији притисак расте, дува слаб ветар, углавном западних смерова, а поједине станице региструју и маглу.

Слика 3. Аналитичке карте: (1) 24.05.2012. у 12 UTC, (2) 24.05.2012. у 15 UTC, (3) 24.05.2012. у 18 UTC

Слика 4 показује временске услове на простору Србије у синоптичким терминима: 12h, 15h и 18h по UTC. У Београду су грмљавински процеси почели већ у раним јутарњим сатима. По подацима од 12 сати (14h по СЕВ-у), температура ваздуха је 22°C, облачност 6/8, повремено је падала слаба киша, праћена грмљавинским процесима, дувао је слаб североисточни ветар, а висина доње базе кумулонибуса (Cb) на око 400 – 500 m. Након 3 сата (у 15 UTC), време се није битније променило, осим што је притисак опао за 1,3 mb и износио 1009,4 mb, а северозападни ветар је мало појачао. Тенденција пада притиска је указивала на присуство још увек прилично топле ваздушне масе, која се постепено хладила условљавајући пораст релативне влажности, а тиме и повећање нестабилности атмосфере. По подацима од 18 UTC, тенденција притиска је позитивна и износи 1,5 mb. Ова чињеница и пад температуре од 4°C у односу на пре три сата, указује да је хладан фронт већ прошао преко Београда, односно на адвекцију хладне ваздушне масе. На основу развоја времена током поменутог дана, вероватно се радило о хладном фронту II реда, а тромба се јавила у периоду проласка фронта преко Београда, између 17 – 18h по СЕВ-у.

Слика 4. Приземне синоптичке карте: (1) 24.05.2012. у 12 UTC, (2) 24.05.2012. у 15 UTC, (3) 24.05.2012. у 18 UTC

У предњем делу кумулонибуса постоји јака турбуленција ваздуха и смицање ветра (нагла промена смера ветра). У том делу Cb облака, где турбуленција достиже огромне брзине, главни је извор енергије за настанак тромбе. Наиме, топао и влажан ваздух се уздиже, а у Cb облаку га преузима узлазна струја. Истовремено, у том делу облака постоји и јака силазна струја, доносећи хладан и влажан ваздух. Ова конвергенција топлог ваздуха у узлазним, а исто тако и хладног ваздуха у силазним струјама, изазива формирање ротирајућег облака и стварање подручја јако ниског ваздушног притиска које делује као усисвач, формирајући облачни стуб који се спушта ка земљи. Најједноставније речено, за настанак тромбе потребно је да се покlope три услова: велики вертикални температурни градијент (нагли пад температуре са висином), повећана влажност ваздуха у приземљу и нагли пораст брзине ветра са висином и његово смицање. Промене метеоролошких параметара с висином (температуре ваздуха, ваздушног притиска, тачке росе и правца брзине ветра) на емаграму (слика 5 лево), унете из TEMP извештаја, показује такве услове. Да је у том делу Србије постојала јака енергија нестабилности и повољни услови за стварање гомиласто – олујних облака (Cb) може се видети и по CAPE индексу, чија је вредност износила између 1500 – 2000 J/kg (слика 5 десно).

Слика 5. Емаграм (лево) и вредност CAPE индекса (десно) у 12 h, 24.05.2012.

Слика 6. Сателитски снимак облачних система, 24.05.2012. у 14:45 UTC

Слика 7. Тромба на Новом Београду (Фото: brutaloffice.com)

Закључак

Приликом појаве тромбе, Балканско полуострво и Панонска низија налазили су се под утицајем североисточног струјања на висини и влажне нестабилне ваздушне масе. Фронтални системи облачности померали су се преко северних и централних делова Србије условљавајући кишу, пљускове и грмљавине и појачан северозападни ветар. Олујно невреме у Београду било је са прекидима од 17h до 20h. На Сурчину је пало само 3 l кише по m^2 , у а центру града 23 l/m^2 .

На основу анализе синоптичког материјала, услови за развој тромбе су били повољни, јер је постојао и процес и повећана енергија нестабилности. Та појачана енергија нестабилности је имала већи значај него тренутна синоптичка ситуација, јер се радило о североисточној струји у склопу задње стране депресије, али то би захтевало детаљнију анализу, пре свега висинских карата и температурног градијента.

Дакле, тромба се јавила у склопу североисточне струје која се премештала преко Београда даље на југозапад и запад. На основу анализе синоптичког материјала, не може се рећи да се радило о адвекцији јако хладног ваздуха, што значи да је било довољно топлоте у приземљу, али не и по висини (велики вертикални градијент температуре), висока влажност ваздуха и изражена вертикална и хоризонтална струјања, односно повољни услови за настанак тромбе.

Литература

Литературу видети на 65 страници.