



**UNIVERSITATEA „ALEXANDRU IOAN CUZA” DIN IAȘI**

**FACULTATEA DE GEOGRAFIE-GEOLOGIE**

**ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOȘTIINȚE**

**REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT**

***Caracteristici ale genezei, prognozei și riscului  
climatic ale grindinei în arii agricole din Moldova***

**Coordonator științific:**

**Prof. univ. em. dr. Liviu Apostol**

**Student-doctorand:**

**Istrate Vasilică**

***Iași 2021***

UNIVERSITATEA „ALEXANDRU IOAN CUZA” DIN IASI

ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOȘTIINȚE

FACULTATEA DE GEOGRAFIE ȘI GEOLOGIE

DOMENIUL: GEOGRAFIE

**Domnului/Doamnei.....**

Vă facem cunoștință că în data de 06 septembrie 2021, ora 10.00, online pe Platforma Webex, drd. Istrate Vasiliță va susține în ședință publică teza de doctorat cu titlul:

*Caracteristici ale genezei, prognozei și riscului climatic ale grindinei în arii agricole din Moldova*

În vederea obținerii titlului științific de doctor în domeniul GEOGRAFIE

Comisia de doctorat a fost numită prin Decizia Nr. 9277/18.06.2021 a Rectoratului Universității ”Alexandru Ioan Cuza” din Iași și are următoarea componență:

**Președintele:**

**Prof. univ. dr. Adrian GROZAVU** – Decan al Facultății de Geografie și Geologie, Universitatea Alexandru Ioan Cuza din Iași

**Conducător științific:**

**Prof. univ. em. dr. Liviu APOSTOL** - Departamentul de Geografie, Facultatea de Geografie și Geologie, Universitatea Alexandru Ioan Cuza din Iași

**Referenți:**

**Prof. univ. dr. Nicoleta IONAC** – Facultatea de Geografie, Universitatea din București

**Prof. univ. dr. habil. Adina-Eliza CROITORU** - Facultatea de Geografie, Universitatea “Babeș Bolyai” Cluj-Napoca

**Prof. univ. dr. habil. Liviu LEONTIE** – Facultatea de Fizică, Universitatea Alexandru Ioan Cuza din Iași

Teza poate fi consultată la Biblioteca Facultății de Geografie și Geologie

## Cuprins

<b>INTRODUCERE .....</b>	<b>4</b>
--------------------------	----------

<b>CAP. 1. PROGRESE TEORETICE ȘI PRACTICE ÎN STUDIUL FENONEMULUI DE GRINDINĂ.....</b>	<b>5</b>
---------------------------------------------------------------------------------------	----------

1.1. Prognoza grindinei .....	5
1.2. Climatologia grindinei .....	6
1.3. Evaluarea gradului de risc.....	7

<b>2. ZONA STUDIATĂ, DATE UTILIZATE, METODE ȘI MIJLOACE DE CERCETARE .....</b>	<b>8</b>
--------------------------------------------------------------------------------	----------

2.1. Caracteristici fizico-geografice ale regiunii studiate .....	8
2.1.1. Limitele zonei studiate .....	8
2.1.2. Relieful .....	9
2.1.3. Hidrografia .....	9
2.1.4. Modul de utilizare al terenului .....	10
2.2. Surse de date utilizate .....	10
2.3. Metode si mijloace de cercetare .....	12

<b>CAP. 3. GENEZA FENOMENULUI DE GRINDINĂ ÎN MOLDOVA EXTRACARPATICĂ .....</b>	<b>15</b>
-------------------------------------------------------------------------------	-----------

3.1. Cauze genetice ale formării și creșterii grindinei.....	15
3.1.1. Aspecte teoretice asupra instabilității atmosferice și dezvoltării norilor convectivi .....	15
3.1.2. Umiditatea din troposfera joasă și medie .....	15
3.1.3. Nucleele de condensare și creșterea cristalelor de gheață.....	15
3.2. Caracteristicile termodinamice ale mediului convectiv din timpul furtunilor cu grindină .....	17
3.2.1. Parametri convectivi asociați cu furtunile însoțite de grindină .....	17

3.1.2.	<i>Starea indicilor de instabilitate de la ora 12:00 UTC .....</i>	18
3.1.3.	<i>Starea indicilor de instabilitate de la ora 00:00 UTC .....</i>	22
<b>4.</b>	<b>PROGNOZA GRINDINEI PE TERITORIUL MOLDOVEI EXTRACARPATICE .....</b>	<b>26</b>
4.1.	Proгноza de scurtă durată a grindinei .....	26
4.1.1.	<i>Potențialul indicilor de instabilitate pentru prognoza grindinei .....</i>	26
4.1.2.	<i>Potențialul indicilor de instabilitate pentru prognoza mărimii greloanelor .....</i>	28
4.1.3.	<i>Modele matematice de prognoză a grindinei .....</i>	30
4.2.	Caracteristici sinoptice ale zilelor cu căderi de grindină – prognoza de medie durată .....	30
4.2.1.	<i>Perioadele sinoptice și mase de aer care generează furtuni cu grindină .....</i>	30
4.2.2.	<i>Tipuri de circulație atmosferică din zilele cu grindină, conform clasificărilor automate GWT și WLK și descrierea mediului convectiv .....</i>	31
4.2.3.	<i>Tipare sinoptice asociate căderilor de grindină .....</i>	34
4.3.	Proгноza imediată a grindinei – nowcasting-ul .....	37
4.3.1.	<i>Radarele meteorologice – caracteristici principale .....</i>	37
4.3.2.	<i>Algoritmi de detectare ai grindinei cu ajutorul radarului .....</i>	37
4.3.3.	<i>Detectarea grindinei cu ajutorul imaginilor satelitare .....</i>	38
<b>CAP. 5.</b>	<b>FENOMENUL DE GRINDINĂ ÎN ARII AGRICOLE DIN MOLDOVA - CLIMATOLOGIA ȘI EVALUAREA RISCULUI.....</b>	<b>39</b>
5.1.	Climatologia fenomenului de grindină în Moldova extracarpatică .....	39
5.1.1.	<i>Distribuția spațială a căderilor de grindină .....</i>	39
5.2.	Evaluarea riscului la căderile de grindină în ariile agricole din Moldova ...	42
5.2.1.	<i>Metode de evaluare a riscului la grindină .....</i>	42
5.2.3.	<i>Evaluarea gradului de risc pentru principalele tipuri de culturi .....</i>	44
5.2.4.	<i>Utilizarea datelor radar și a celor satelitare pentru evaluarea pagubelor produse de grindină.....</i>	47
<b>CONCLUZII .....</b>		<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ .....</b>		<b>52</b>

## INTRODUCERE

Lucrarea de față se dorește a fi un demers care să aducă un aport la cunoașterea cât mai detaliată a modului de manifestare a fenomenului de grindină, a metodelor de prognoză atât pe termen scurt cât și mediu, precum și a gradului de vulnerabilitate a terenului agricol din Moldova față de acesta. Alegerea temei de cercetare are la bază mai multe motivații. În primul rând activând ca specialist în cadrul Sistemului Național de Combatare a Grindinei și de Creștere a Precipitațiilor, a intervenit astfel necesitatea și oportunitatea îmbunătățirii cunoștințelor referitoare la prognoza și manifestarea acestui fenomen într-un mediu științific dinamic și sub îndrumarea unor specialiști de talie internațională. În afara acestui aspect, mai degrabă personal, s-a dorit aducerea unor noi cunoștințe în ceea ce privește prognoza grindinei în contextul actualelor schimbări climatice într-un spațiu individualizat precum teritoriul Moldovei extracarpatică. Studiarea și descrierea cât mai detaliată a mediului convectiv și preconvectiv caracteristic furtunilor care provoacă grindină precum și a tiparelor sinoptice specifice poate duce la îmbunătățirea prognozei fenomenului. De asemenea, propunerea unei metodologii de evaluare a gradului de risc la grindină pentru principalele culturi agricole din zona studiată aduce o mai bună cunoaștere a arealelor cu vulnerabilitate crescută, dar poate fi utilă și companiilor de asigurări.

Ipotezele cercetării vizează analiza *particularităților termo-dinamice ale mediului convectiv în care se dezvoltă furtuni care provoacă căderi de grindină în arealul extracarpatic al Moldovei dar și evaluarea gradului de vulnerabilitate al terenurilor agricole pentru a putea eficientiza metodele de reducere a pagubelor.*

Obiectivele propuse în acest studiu sunt:

- Analiza valorilor unor indici ai instabilității proveniți din datele de aerosondaj sau date de reanaliză;
- Evaluarea utilității indicilor de instabilitate în prognoza fenomenului de grindină;
- Stabilirea unor tipare sinoptice majore care determină căderi de grindină pe teritoriul studiat;
- Realizarea unei climatologii a fenomenului de grindină;
- Evaluarea riscului la acest fenomen pentru cele mai vulnerabile culturi agricole.

Structura lucrării este în concordanță cu titlul acesteia și ipotezele de lucru formulate. Cele 5 capitole ale tezei nu sunt asemănătoare din punct de vedere al numărului de pagini, primele două abordând mai mult aspectele teoretice ale temei de cercetare, iar celelalte două, mai extinse, având în cea mai mare parte rezultate experimentale propriu-zise.

## **CAP. 1. PROGRESSE TEORETICE ȘI PRACTICE ÎN STUDIUL FENONEMULUI DE GRINDINĂ**

### **1.1. Prognoza grindinei**

#### ***1.1.1. Caracterizarea mediului convectiv și preconvectiv***

Primele metode de prognoză a grindinei la nivel global a avut un succes limitat, cu eșantioane statistice mici, care dezvoltau relații empirice între mărimea grindinei și valoarea Convective Available Potential Energy (CAPE) sau temperatura la diferite niveluri (de ex. Fawbush și Miller, 1953; Foster și Bates, 1956; Miller, 1972; Foote și Knight, 1977; Moore și Pino, 1990). Parametrii termodinamici care se află în legătură strânsă cu magnitudinea curentului vertical s-au dovedit a fi populari atât în Europa cât și în SUA, datorită condiției necesare ca viteza acestuia să fie mare pentru a determina creșterea greloanelor de grindină (de ex. CAPE, gradientul termic din troposfera medie; cf. Huntrieser et al., 1997; Manzato, 2005; Groenemeijer și van Delden, 2007; Kunz, 2007; Sánchez et al., 2009; Smith et al., 2012; Mohr și Kunz, 2013; Johnson și Sugden, 2014; Merino et al., 2014; Púčik et al., 2015; Tuovinen et al., 2015; Sanchez et al., 2017; Lkhamjav et al., 2017). În Europa, indicele de ascensiune (Lifted Index) s-a dovedit a fi util deasemenea pentru prognoză (Mohr și Kunz, 2013).

Proceduri complexe de prognoză a grindinei au fost realizate și de specialiștii din cadrul sistemului de combatere a grindinei din Rusia și fostele republici sovietice. În prognoza operațională a grindinei, cei mai importanți parametri termodinamici sunt cei legați de viteza fluxului ascendent, umiditatea la diferite nivele și direcția și viteza fluxului din troposfera medie (Abshaev et al., 1965; Shishkin și Glushkova, 1965; Glushkova și Minakova, 1967; Bokova P.A., 1975; Sulakvelidze, G. K et. al., 1977; Belentsova și Fedchenko, 1981; Fedchenko et.al. 1981; Abshaev 1984; Goral G.G, 1984; Goral și Berekova 1986 Goral et. al., 1982, 1984, 1985; Fedchenko et.al. 1992;).

Pentru România, Bălescu și Militaru (1967) realizează un studiu în care sunt descrise condițiile aerologice favorabile căderilor de grindină. Unele studii au abordat prognoza instabilității, în general, sau a orajelor cu ajutorul unor indici de instabilitate (Ionescu-Nișcov, 1978; Stoian și Cheric, 1969; Grama, 1969; Sfică et al., 2015). Caracterizarea mediului convectiv și preconvectiv al furtunilor cu grindină apare în studii de caz a unor evenimente excepționale (Bogdan, 1995; Stan-Sion și Antonescu, 2006; Hauer și Nichita, 2011; Istrate et al, 2019a; Istrate et al, 2019b; Ilie et al., 2020). Eficiența unor indici de instabilitate derivați din datele de aerosondaj pentru prognoza instabilității a fost testată pentru zona Transilvaniei (Maier și Haidu, 2005, Maier, 2011). Pentru arealul Moldovei, o bună capacitate de prognoză a grindinei a dovedit-o Lifted Index, dar și corelarea valorilor acestuia cu gradientul de temperatură din troposfera medie (Istrate et al., 2015, 2016a).

#### ***1.1.2. Caracteristici sinoptice***

Analiza tiparelor sinoptice a căpătat mai multă consistență prin includerea mai multor variabile termodinamice în caracterizarea lor. Astfel, pe lângă câmpul baric de la suprafața

solului au fost adăugate date referitoare și la umiditatea aerului, direcția și viteza vântului în altitudine, la diferite nivele, înălțimea izotermei de 0°C (Harrison and Beckwith, 1951; Frisby E.M., 1962). În încercarea de a obiectiviza procesul de clasificare a circulațiilor atmosferice, s-au dezvoltat modele matematice în care au fost introduse un număr cât mai mare de variabile termodinamice (Stohl și Scheifinger. 1994, Huth et al., 1996, 2000, 2008, James, P.M. 2006, 2007).

Pentru teritoriul României și inclusiv a regiunii Moldova, studiul tipurilor de circulația sinoptică corelate cu căderile de grindină este slab reprezentat în lucrările de specialitate. Stan-Sion și Antonescu (2006) identifică trei suprafețe active care preced unele episoade convective severe din sud-estul României. Pentru ciclonii mediteraneeni care influențează teritoriul României au fost caracterizate tiparele sinoptice și s-a evidențiat potențialul lor de a favoriza riscurile climatice din semestrul cald (Apostol, 2008; Garaba și Sfîcă, 2015). În timpul semestrului cald utilizând clasificarea Hess-Brezowsky, Ilie et al. (2021) au găsit corelații puternice între cantitățile maxime de precipitații din nordul Moldovei și un cuplaj termo-baric între un maxim din zona Islandei și a Pen. Scandinave și o șa ciclonală deasupra Europei Centrale. Alte lucrări au utilizat clasificarea GWT a tipurilor de circulații pentru a o corela cu furtunile de praf saharian (Țîmpu et al., 2020) sau clasificarea k-means pentru a studia nebulozitatea din ultimele decade (Sfîcă et al., 2021).

Pentru zona Moldovei există studii de climatologie a grindinei care abordează parțial și unele aspecte privitoare la contextul sinoptic în care fenomenul are loc (Machidon și Apostol, 2011; Burcea et al., 2019). Astfel, este indicat spre exemplu că pentru bazinul Bârladului, masele de aer de origine maritim polare au generat aproape jumătate dintre căderile de grindină înregistrate la stațiile meteorologice în intervalul 1961-2009 (Machidon și Apostol, 2011). De asemenea, numărul lunar al sistemelor convective din bazinul Prutului este bine corelat cu valorile mici ale presiunii la sol de deasupra Mării Negre (Burcea et al., 2019).

## **1.2. Climatologia grindinei**

La nivelul Europei, Ludlam (1980) observă că cea mai mare probabilitate de manifestare a furtunilor însoțite de grindină în Europa apare într-o bandă lungă din Franța prin regiunile care înconjoară Alpii până în Caucazul de Nord. Conform studiului Cecil și Blankenship (2012), frecvența grindinii estimată din imaginile satelitare este mare în țările mediteraneene și Europa de Est. Investigațiile lui Bedka et al. (2012) indică cea mai mare probabilitate de convecție severă, în zona Alpilor, peste nord-estul Spaniei și în Republica Cehă. Europa Centrală este extrem de expusă riscului la grindină, și anume Germania, Elveția și Austria, unde sunt disponibile mai multe studii cuprinzătoare privind frecvența grindinei (Suwala, K., et al, 2013, Kunz și Puskeiler, 2010, Puskeiler, M., 2013).

Numărul mediu de zile cu grindină precum și numărul maxim anual este cartat pentru prima dată pentru întreg teritoriul țării de Iliescu și Popa (1983). Prin utilizarea datelor din stațiile meteorologice în Clima României (2008), a fost realizată o hartă care arăta distribuția spațială a grindinei în România. Cel mai recent studiu în care a fost realizată o climatologie de grindinei pentru teritoriul României (Burcea et al., 2016), utilizează date provenite de la

105 stații meteorologice, între anii 1961-2014. Pentru arealul cuprins între Prut și Siret, numărul mediu anual de zile de grindină a fost studiat de Apostol și Machidon (2011).

### **1.3. Evaluarea gradului de risc**

La nivel internațional, primele evaluări ale pagubelor produse de grindină pentru un teritoriu foarte mare s-au realizat în SUA încă din prima jumătate a secolului al XX-lea (Lemons H. 1942a). Utilizarea arhivei cu date climatologice referitoare la frecvența și intensitatea fenomenului de grindină a permis realizarea primelor metodologii de estimare a riscului pentru teritoriul SUA (Changnon S.A. Jr., 1999, 2001, 2009).

Evaluarea riscului la căderi de grindină, cu utilizarea datelor climatologice și a celor provenite de la firmele de asigurări, s-a realizat și pentru unele zone din Australia (McMaster et al., 2001, Leigh et al., 2001) sau arealele viticole din Franța (Vignet F., 2002).

Pentru teritoriul României și inclusiv a zonei studiate, primele informații referitoare la aspectele de risc a grindinei apar în lucrări care descriu evenimente foarte severe petrecute în general, înainte de anul 1950 (Hepites, 1881, Gugiuman și Chiriac, 1956, Erhan, 1985; Bogdan, 1995). Utilizând datele privitoare la numărul mediu de zile, numărul maxim de zile cu grindină (Iliescu și Popa, 1983) și intensitatea ploilor din semestrul cald (Geografia României, I, Geografie Fizică, 1983), Bogdan și Niculescu (1999) realizează o carografiere a vulnerabilității teritoriului României față de căderile de grindină. Teritoriul țării este încadrat astfel în patru clase de vulnerabilitate: mică, intermediară, mare și combinată.

Un studiu mai detaliat în care manifestarea spațio-temporală a hazardului este corelată cu pagubele produse culturilor agricole este realizat pentru județele Vrancea și Galați în contextul dezvoltării în zonă al unui sistem de combatere al grindinei (Machidon, 2006). Studiile mai recente pentru teritoriul României utilizează date de la radarele meteorologice pentru a cuantifica hazardul climatic în regiunea Transilvaniei (Maier et. al., 2010) sau a Moldovei (Burcea et al., 2019). Estimarea gradului de risc față de grindină și implicit a pagubelor produse cu ajutorul energiei cinetice măsurată de radarele meteorologice a fost realizată în unele studii de caz pentru sudul României (Cică et al., 2015) sau nordul Moldovei (Istrate et al., 2019a).





istoric regiunea Moldovei se întindea până la valea râului Milcov. La nord și est limitele zonei sunt frontierele cu Ucraina și Republica Moldova. Aria studiată se desfășoară pe aproximativ 3° latitudine și aproximativ 2° longitudine caracteristicile sale climatice fiind relativ omogene. Suprafața regiunii zonei studiate este de aproximativ 35.300 km<sup>2</sup>, din care terenurile agricole reprezintă 80% (aproximativ 25.000 km<sup>2</sup>).

### **2.1.2. *Relieful***

La nivel regional, din punct de vedere geomorfologic, arealul studiat se suprapune peste următoarele unități majore de relief: Subcarpații Orientali, Podișul Moldovei (care este înglobat în totalitate în aria studiată) și nord-estul Cîmpiei Române. Subunitățile principale ale Subcarpaților Orientali sunt Subcarpații Moldovei, cuprinși în totalitate în aria studiată și jumătatea nord-estică a Subcarpaților Curburii. Din Câmpia Română sunt cuprinse în totalitate câmpiile Tecuciului și Covurluiului și parțial, cele ale Râmnicului și Siretului inferior. Principalele subunități ale Podișului Moldovei sunt: Podișul piemontan Ciungi-Corni și Culoarul Moldova-Siret, Podișul Sucevei, Câmpia Moldovei, Podișul Bârladului și Podișul Covurluiului (Geografia României, vol. I, 1983).

Din punct de vedere morfometric, ecartul altitudinal al regiunii studiate este între 7 metri în zona de subsidență a Cîmpiei Siretului Inferior și 996 metri în dealul extern al Subcarpaților de Curbură, în Măgura Odobești. Clasele altitudinale cu cea mai mare frecvență, care domină întreg peisajul în cadrul regiunii, sunt cele cuprinse între 100 m și 300 m. Cea mai reprezentativă clasă altitudinală este cuprinsă între 100-200 m altitudine, cu o pondere de aproximativ 30%, specifică pentru partea de sud a teritoriului și în lungul cursurilor de apă. Ponderea cea mai scăzută o are clasa altitudinală ce depășește 800 m, cu o frecvență de aproximativ 0,1 %, aceste înălțimi fiind specifice culmilor înalte din Subcarpați.

### **2.1.3. *Hidrografia***

Rețeaua hidrografică a zonei studiate aparține bazinelor hidrografice Siret și Prut. Bazinul hidrografic Siret ocupă peste  $\frac{3}{4}$  din suprafața regiunii studiate.

Suprafețele lacustre reprezentate în principal de iazuri piscicole sunt cele mai numeroase în Câmpia Moldovei, detașându-se ca suprafață, lacul de acumulare Stânca-Costești. Lacuri de acumulare cu suprafețe însemnate se află îndeosebi pe cursul Siretului între orașul Bacău și localitatea Cosmești din județul Galați. Conform CLC 2018 suprafețele acvatice reprezentate de luciul de apă al râurilor, lacurilor și a zonelor însumează 780 km<sup>2</sup> reprezentând aproximativ 2,5% din suprafața arealului studiat. Aceste suprafețe contribuie la dezvoltarea convecțiilor puternice sau la prelungirea vieții acestora prin aportul de umiditate pe care îl pot aduce atât în timpul zilei dar și în timpul nopții datorită inerției termice mai mari a apei.

#### **2.1.4. Modul de utilizare al terenului**

Aproximativ 50% din suprafața zonei studiate este utilizată ca teren arabil, în special pentru culturi cerealiere. Tipul de utilizare al terenului influențează puternic capacitatea fluxurilor mezoscalare de a concentra CAPE în unele regiuni, astfel încât să permită o probabilitate mai mare de apariție a furtunilor cu grindină.

Nu este de neglijat nici influența asupra climatului local a centrelor urbane mari din zona studiată. Studiarea efectului de insulă de căldură urbană pentru cele mai mari centre urbane, Iași și Galați, au arătat că în timpul verii temperatura acestora poate fi cu 2 până la 3° C mai mare decât zona rurală învecinată (Sfică et al., 2018, Crețu et al., 2020). Creșterea gradului de poluare, deci și a numărului nucleelor de condensare contribuie la creșterea nebulozității în zonele industrializate sau cu grad ridicat de urbanizare însă efectul dezvoltărilor convective nu este pe deplin clarificat.

Suprafețele ocupate cu viță de vie reprezintă aproximativ 2,7% din suprafața zonei studiate, cea mai mare parte a lor fiind localizată în podgoriile din județul Vrancea. Alături de livezi, acestea au mare importanță în prezentul studiu datorită vulnerabilității lor mai mari la căderile de grindină (Oșlobeanu et. al., 1980; Machidon et. al., 2006; Istrate et. al., 2019b)

## **2.2. Surse de date utilizate**

### **2.2.1. Datele referitoare la caderile de grindină**

Realizarea unei climatologii extinse a acestui fenomen și estimarea riscului pentru culturile agricole s-au bazat pe caracteristicile spațio temporale ale căderilor de grindină pe teritoriul studiat. În acest scop, au fost utilizate date care provin din trei surse și anume: baza de date a Administrației Naționale de Meteorologie din România, Baza europeană de Date pentru Vreme Severă (European Severe Weather Database -ESWD) și surse media (raportări din ziarele centrale și locale precum și din rețelele de socializare). Perioada pentru care s-au studiat caracteristicile fenomenului de grindină și a prognozei sale este cea a semestrului cald din România și anume 1 aprilie-30 septembrie.

**Datele provenite de la Administrația Națională de Meteorologie (ANM)** reprezintă un număr de 309 de înregistrări ale fenomenului de grindină de la 14 stații meteorologice. Aceste date nu au fost disponibile pentru aceeași perioadă comună pentru toate stațiile. Pentru 4 stații meteorologice principale (Botoșani, Iași, Bacău și Galați) au fost utilizate cele mai multe date din perioada comună 1961-2017. Pentru celelalte stații numărul de evenimente și perioada disponibilă au fost mai mici. În același timp prin lungimea șirului statistic (42 de ani) ea corespunde pe deplin rigorilor cercetărilor climatice sub aspectul reprezentativității. În urma analizei datelor de la stațiile meteorologice au rezultat 263 de zile unice cu grindină pentru întreg arealul studiat, unele dintre evenimente având loc în aceeași zi în altele în locații diferite.

**Raportările căderilor de grindină provenite din ESWD** sunt din intervalul 2007-2020. Principalul obiectiv al ESWD este de a colecta informații referitoare la hazardurile climatice din Europa care ulterior sunt supuse unui proces de control al calității (Groenemeijer et al., 2004, 2017). Au fost utilizate din această bază de date un număr de 29 de zile cu grindină, diferite de cele 263 de zile provenite din rețeaua oficială de observații

Cea de-a treia sursă de date este reprezentată de **raportări ale fenomenului și ale pagubelor provocate din arhiva presei locale sau regionale**. Aceste date au trecut printr-un proces de verificare prin utilizarea imaginilor de la radarele meteorologice utilizate pentru combaterea grindinei în cadrul unităților Moldova 1 Iași și Moldova 2 Vrancea. O parte dintre raportările căderilor de grindină provenite din cele trei surse de date au fost comune, sau au avut loc în locații diferite din aceeași zi. În urma analizelor calitative și cantitative au rezultat 378 de zile cu căderi de grindină înregistrate pe teritoriul Moldovei extracarpătice în intervalul 1979-2020.

### ***2.2.2. Datele provenite de la aerosondaje***

O primă sursă de date pentru condițiile termodinamice sunt cele provenite de la aerosondajele efectuate la București, Cluj-Napoca, Cernăuți și Odesa. Au fost utilizate datele termodinamice ale profilului vertical al atmosferei și indicii de instabilitate derivați din acestea pentru ora 00:00 UTC și ora 12:00 UTC pentru cele 378 de zile cu grindină. Datele de radiosondaj sunt transmise în flux internațional și au fost descărcate de pe <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

Astfel, acolo unde au existat date, s-au utilizat cele de la stația din proximitate iar unde lipseau am încercat preluarea lor de la altă stație cât mai apropiată. Datele de la ora 00:00 UTC au disponibile pentru 97% din zilele cu grindină iar cele de la ora 12:00 UTC pentru 83%. Cea mai multe date disponibile au fost la stația București-Afumați, peste 70% dintre zilele cu grindină fiind caracterizate cu datele de la această stație.

### ***2.2.3. Datele de reanaliză din ERA5***

Distanța mare a zonei studiate față de stațiile de aerosondaj a determinat utilizarea pentru comparație și pentru o mai bună reprezentare spațială parametri termodinamici necesari analizei mediului convectiv, a bazei de date ERA5 realizată de Centrul European de Prognoză Meteo pe Termen Mediu (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - ECMWF) (Hersbach et Al., 2020).

Baza de date a ERA5 are o rezoluție orizontală a grilei de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  cu pași temporali orari și o schemă de coordonate hibridă sigma-presiune cu 137 de niveluri verticale, spre deosebire de reanalizele anterioare cu rezoluții mult mai mari. Pentru zona studiată cele mai multe date au fost extrase pe o grilă având 13 x 15 puncte încadrate de coordonatele:  $45,00^\circ$ - $48,40^\circ$  lat. N;  $25,50^\circ$ - $28,40^\circ$  long. E. Pentru a se putea compara cu datele provenite de la stațiile aerologice au fost utilizate în principal date de la intervalele orare 00:00 și 12:00 UTC.

#### **2.2.4. Alte seturi de date utilizate**

În afară de datele climatice referitoare la caracterizarea profilului vertical al atmosferei, în studiu au mai fost utilizate și alte seturi de date numerice vectoriale și rasteriale.

### **2.3. Metode si mijloace de cercetare**

Scopul principal al acestui studiu este de a identifica valorile parametrilor atmosferici derivați din datele de aerosondaj ale atmosferei din zilele cu grindină și de a evalua capacitatea acestora de a prognoza fenomenul. Valorile parametrilor termo-dinamici au fost analizate pentru orele 00:00 și 12:00 UTC ai fiecărei zile cu grindină. Valorile parametrilor convectivi din datele ERA5 existenți în baza de date sau calculați în teză au fost analizați pentru aceleași ore standard 00:00 și 12:00 UTC, pentru a se putea realiza comparații.

Acești indici au fost grupați în patru categorii în funcție de parametrii utilizați pentru calcularea lor prezentați sumar în **tabelul 1**. Din prima grupă fac parte indicii care caracterizează mediul convectiv conform teoriei particulei de aer (de ex. CAPE, LI) iar din a doua și a treia grupă indicii calculați din caracteristicile termice ale profilului vertical al atmosferei. În cea de a patra grupă sunt indicii care aduc informații despre viteza și direcția vântului la anumite nivele, pe care i-am denumit “cinematici”. În cea de a cincea grupă sunt indicii care sunt calculați prin utilizarea mai multor tipuri de parametri sau prin combinarea altor indici din celelalte categorii. În prima etapă au fost descărcate datele de aerosondaj precum și cele din ERA5 în mod direct de la adresele care permit acest lucru dar și cu ajutorul soft-ului RStudio (<http://www.rstudio.com/>). Valorile celor mai mulți indici utilizați existau deja în bazele de date utilizate. Pentru calcularea valorilor celorlalți au fost descărcăți parametrii necesari.

După extragerea datelor și calcularea tuturor indicilor utilizați, analiza lor statistică s-a realizat cu ajutorul programelor Excel, Xlstat și Rstudio. Cea mai utilizată formă de reprezentare grafică este diagrama de tip box-plot cu ecart de variație utilizată în statistică începând cu anii 1970 (Tukey, 1977). În cazul acestor grafice, limitele corpului diagramei sunt reprezentate de percentilele 25 și 75, iar ecartul de variație de percentilele 10 și 90. Mediana este reprezentată prin linia neagră orizontală din interiorul corpului diagramei.

Tab. 1. Selectarea indicilor de instabilitate utilizați

	Grupa	Denumirea indicelui	Abrevierea	Unită tea de măsură
1.	Indici ai teoriei particulei	Energia potențială convectivă disponibilă - Convective available potential energy	CAPE	J/kg
2.		Energia de inhibiție convectivă- Convective Inhibition	CIN	J/kg
3.		Indicele de ascendență -Lifted index	LI	-
4.		Indicele Showalter - Showalter index	SI	°C
5.		Nivelul de condensare prin ridicare-Lifted condensation	NCR	m
6.		Nivelul de convecție – Equilibrium level	NC	m
7.		Înălțimea norului	H <sub>nor</sub>	m
8.		Viteza verticală maximă a particulei-viteza maximă a fluxului ascendent	W <sub>max</sub>	m/s
9.	Indici ai temperaturii	Înălțimea izotermei de 0°C	H <sub>0</sub>	°C
10.		Gradientul de temperatură dintre 2m și nivelul potențialului de 700 hPa	GT <sub>0-700</sub>	°C
11.		Gradientul de temperatură dintre 800 hPa și 500 hPa	GT <sub>800-500</sub>	°C/km
12.	Indici ai umidității	Umiditatea relativă la nivelul 850 hPa	UR <sub>850</sub>	%
13.		Umiditatea relativă la nivelul 700 hPa	UR <sub>700</sub>	%
14.		Umiditatea relativă la nivelul 500 hPa	UR <sub>500</sub>	%
15.		Raportul de amestec în primii 500 de metri/Umiditatea specifică	RA <sub>500</sub>	g/kg
16.		Apa precipitabilă din atmosferă	AP	mm
17.	Indici cinematici	Forfecarea vântului (diferența de viteză a vântului dintre nivelul 500 hPa și cel de 10 m)	V <sub>0-500</sub>	m/s
18.		Viteza fluxului conductor	V <sub>f</sub>	Km/h
19.	Indici compuși	Indicele K	KI	K
20.		Totalul totalurilor- Total totals	TT	K
21.		Numărul Bulk-Richardson - Bulk-Richardson Number	BRN	-
22.		Indice de alertă pentru vreme severă - Severe Weather Threat Index	SWEAT	-
23.		Produsul dintre W <sub>max</sub> și V <sub>0-500hPa</sub>	VW <sub>max</sub>	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>

## Caracteristicile sinoptice

Analiza condițiilor sinoptice din zilele cu căderi de grindină s-a realizat prin metodele obiective de clasificare GWT (Gross Wetter Typen) (Beck C., 2000) și WLK (Wetterlagenklassifikation) (Dittmann et al., 1995). Tipurile de circulație pentru cele două metode utilizate au fost obținute cu ajutorul programului COST733class (Philipp et al., 2016). Pentru realizarea clasificărilor au fost utilizate date provenite din ERA5 de la ora 12:00 UTC a fiecărei zile din semestrul cald (1 aprilie-30 septembrie) din intervalul 1981-2020. Domeniul spațial selecționat este centrat pe zona studiată pentru a surprinde cât mai bine specificitatea acestora în funcție de circulația atmosferică generală. Zilele cu grindină au fost clasificate în funcție de tipurile de circulație derivate din cele două metode GWT, respective WLK. În funcție de frecvența pe tipuri de circulație a zilelor cu grindină și corelația dintre tipurile de circulație aparținând celor două metode, s-au obținut șapte tipare sinoptice specifice.

## Climatologia grindinei și evaluarea gradului de risc

Pentru caracterizarea spațio-temporală a căderilor de grindină s-au utilizat metode statistice simple precum gruparea, realizarea frecvențelor pe clase, corelația liniară, dar și mai complexe precum interpolarea spațială sau teste de determinare a tendinței. Realizarea materialelor grafice reprezentate de diagrame și cartograme au fost realizate de asemenea cu programele Excel, Xlstat și ArcMap.

Un alt demers al studiului nostru este acela de a estima impactul pe care îl au căderile de grindină asupra zonelor agricole.

Metodologia de evaluare a riscului este bazată pe definiția riscului acordată de International Strategy for Disaster Reduction of United Nations (UNISDR) (<http://www.unisdr.org>), Dilley et al., 2005 și IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change-Reisinger et al., 2020), utilizată și în cadrul proiectului SEERISK (Bojariu et al., 2014, 2015). Această metodologie constă în determinarea *hărții riscurilor*, ca fiind produsul dintre harta hazardului, harta expunerii și harta vulnerabilității.

Estimarea pagubelor provocate de grindină prin metoda teledetecției s-a realizat prin utilizarea datelor de la radare meteorologice și a celor satelitare Sentinel-2. Utilizarea NDVI de dinainte de producerea fenomenului și de după producerea sa a permis identificarea zonelor agricole afectate și chiar a gradului lor de afectare.

## **CAP. 3. GENEZA FENOMENULUI DE GRINDINĂ ÎN MOLDOVA EXTRACARPATICĂ**

### **3.1. Cauze genetice ale formării și creșterii grindinei**

#### ***3.1.1. Aspecte teoretice asupra instabilității atmosferice și dezvoltării norilor convectivi***

Prin amplificarea turbulenței termice ia naștere convecția termică, determinată de încălzirea inegală a unor compartimente mai mari ale suprafeței. În locul mișcărilor haotice, de dimensiuni mai reduse, încep să predominie treptat mișcări ascensionale puternice sub formă de jeturi cu viteze variabile, de la câțiva m/s la mai mult de 20 m/s. Dacă mișcarea convectivă este suficient de rapidă, atunci schimbul caloric radiativ și prin conductivitate termică între aerul deplasat pe verticală de curenții ascendenți și cu mediul atmosferic înconjurător este foarte slab (Pop, 1988). În ceea ce privește impulsul, acesta poate fi de natură termică sau dinamică și poate fi generalizat de deplasările maselor de aer, de încălzirea puternică a acestuia, de un aport deosebit de umiditate, de particularitățile reliefului și în general de orice discontinuități ale suprafeței subiacente, atât timp cât ele sunt apte să genereze energii cinetice capabile să depășească valoarea momentană a inhibării convective.

#### ***3.1.2. Umiditatea din troposfera joasă și medie***

Cantitatea vaporilor din aer depinde de zona de proveniență a maselor de aer. Principalele surse de umiditate atmosferică, pentru zona Moldovei, sunt Oceanul Atlantic, Marea Mediterană și Marea Neagră. O foarte mică parte din cantitatea de umiditate provine din evaporarea apei de pe suprafața râurilor și lacurilor, a solurilor, sau din evapotraspirația plantelor.

În semestrul cald, repartiția tensiunii vaporilor de apă este mai puțin uniformă decât în sezonul rece, astfel că și etajarea verticală este mai evidentă. În iulie, cele mai mari valori medii lunare, peste 20,0 hPa, se întâlnesc în jumătatea estică a Deltei Dunării și în zona litorală unde și procesele de evapotraspirație sunt mai intense. Valoarea tensiunii vaporilor pentru aria extracarpatică a Moldovei, în această lună, oscilează între 16,0-18,00 hPa. Odată cu creșterea altitudinii valorile medii ale tensiunii vaporilor scad, ajungând sub 10 hPa la peste 2000-2200 m (Clima României, 2008).

#### ***3.1.3. Nucleele de condensare și creșterea cristalelor de gheață***

În interiorul unui nor convectiv, o multitudine de traiectorii sunt capabile să producă grindină. Cu cât perechea curent ascendent/forfecare este mai puternică, cu atât mai diverse vor fi și traiectoriile. Există mai multe moduri în care cristalele de gheață se pot forma în nori



la temperaturi mai mici de  $0^{\circ}\text{C}$ . O metodă implică prezența unei particule, nucleu de condensare (NC) sau glaciogen (NG), în interiorul unei picături de apă, care acționează ca un catalizator pentru congelare. Când o picătură de apă a înghețat astfel, procesul se numește nucleație, iar atunci când se produce la o temperatură cuprinsă între 0 la  $-36^{\circ}\text{C}$ , se numește mai specific **nucleație eterogenă**. Exemple de astfel de centre includ praf, minerale, negru de fum și anumite materiale biologice, cum ar fi resturi de frunze, polen, licheni și bacterii (de exemplu, *Pseudomonas*). Sursele biologice sunt capabile să formeze cristale de gheață și la temperaturi mai ridicate.

În schimb, **nucleația omogenă** este un termen folosit atunci când apa îngheață automat, fără prezența nucleelor de condensare sau de înghețare sau a altei influențe externe, la temperaturi sub  $-36^{\circ}\text{C}$ , și apare ca o consecință naturală a proprietăților microscopice, termodinamice ale apă la temperatura respectivă. Aceasta este adevărata temperatură de îngheț a apei pure, dar în realitate, apa pură este rar întâlnită, și în majoritatea cazurilor conține adesea o formă de nuclee glaciogene și astfel îngheață la aproximativ  $0^{\circ}\text{C}$ . Din acest motiv, în formarea norilor acționează nucleația eterogenă care necesită o cantitate suficientă de nuclee de condensare sau glaciogene pentru a se putea duce la formarea precipitațiilor. În cazul furtunilor însoțite de grindină o importanță deosebită o are concentrația nucleelor de condensare (NCN).

### ***Creșterea greloanelor de grindină***

Atunci când grosimea cristalelor devine egală cu diametrul lor, acestea intră în clasa măzărichii sau a nucleelor de grindină. Cristalele care nu sunt influențate de acreție, formează fulgii de zăpadă. Densitatea volumetrică a cristalelor simple (fulgii de zăpadă), nucleelor de grindină și grindinei este cuprinsă între  $0,1\text{ gcm}^{-3}$  și  $0,9\text{ gcm}^{-3}$  (Hall, 1980).

Particulele de gheață care cresc prin ciocniri cu picături suprarăcite au o temperatură a suprafeței care este mai mare decât cea a aerului din jurul acestora, ca urmare a eliberării de căldură latentă în timpul procesului de congelare. Această încălzire a particulei de gheață este contracarată prin transferul de căldură către aerului din mediul ambiant, prin conducție și prin evaporare în cazul în care aerul este nu este saturat în vapori de apă. Atâta timp cât căldura latentă de congelare este disipată de gheață în creștere a particulelor în așa fel încât temperatura să rămână sub  $0^{\circ}\text{C}$ , toată apa disponibilă din nor trebuie să înghețe pe particula de gheață (Pruppaker și Klett 2010). Se consideră că particula crește în așa-numitul regim de creștere uscat (Ludlam, 1958).

Odată cu creșterea conținutului de apă lichidă din nor, creșterea dimensiunii picăturii și creșterea frecvenței de coliziune între picături și particule de gheață, temperatura particulei în creștere se ridică treptat. Această creștere a temperaturii, în general, încetează când temperatura suprafeței din particule de gheață se apropie  $0^{\circ}\text{C}$ . În astfel de condiții de creștere, nu toată apa atrasă este transformată în gheață, cantitatea de gheață formată fiind determinată de rata la care căldura este disipată de particula. Particula de gheață crește acum în regimul de creștere umedă (Ludlam, 1958).

## **3.2. Caracteristicile termodinamice ale mediului convectiv din timpul furtunilor cu grindină**

### ***3.2.1. Parametri convectivi asociați cu furtunile însoțite de grindină***

Aproape toate procedurile utilizate în mod obișnuit pentru a analiza gradul de stabilitate a atmosferei utilizează metoda particulei. Au fost utilizați opt indici calculați

CAPE (Moncrieff și Miller, 1976; Doswell și Rasmussen, 1994) este un parametru important pentru convențiile severe, care însă nu este destul de reprezentativ în cazul convecțiilor frontale. În completarea acestuia vin SI (Showalter, 1953; Hart și Korotky, 1991) și LI utilizați pentru caracterizarea mediului convectiv și prognoza furtunilor. Inhibiția convectivă (CIN) este energia care trebuie surmontată pentru a avea loc convecția. Un mecanism de ridicare a aerului va trebui să depășească această inhibiție pentru a se produce furtuni convective.

Un LI negativ indică faptul că stratul limită planetar este instabil în ceea ce privește troposfera mijlocie. Acesta este un mediu în care poate apărea convecția. Cu cât valoarea negativă a LI este mai mică, cu atât este mai instabilă troposfera și cu atât mai accentuată va fi viteza de ridicare a stratelor de aer. În cazul SI, valorile negative indică faptul în troposfera mijlocie există un strat limită superior instabil.

Nivelul de condensare prin ridicare (NCR) este definit, în mod formal, ca înălțimea la care umiditatea relativă (UR) a unui strat de aer va ajunge la 100% atunci când este răcit prin ridicare adiabatică uscată. NCR este o bună aproximare a înălțimea bazei norilor care va fi observată în zilele în care aerul este ridicat mecanic de la suprafață la baza norului. Nivelul de convecție (NC) sau nivelul de echilibru este înălțimea la care un strat de aer aflat în ascensiune adiabatică ajunge la aceeași temperatură cu cea a mediului înconjurător.

Pentru caracterizarea mediului convectiv și preconvectiv au fost utilizați trei indici care se referă doar la starea termică a aerului de la anumite niveluri. Primul dintre aceștia este reprezentat de înălțimea izotermei de 0°C. Ceilalți doi indici utilizați în studiu sunt gradientii verticali din troposfera joasă și cea medie. Valoarea acestora poate influența procesele de agregare și acreție premergătoare formării embrionului de grindină.

A treia categorie de parametri utilizați este cea care aduce informații referitoare la cantitatea de apă disponibilă în atmosferă. Umiditatea relativă de la nivelurile standard de presiune 850 hPa, 700 hPa și 500 hPa poate fi utilă pentru a putea localiza mai precis zona din troposferă care dispune de o cantitate mare de apă.

Cea de a patra categorie de indici este reprezentată tocmai de cei care pot caracteriza profilul vântului din atmosfera joasă și medie. Unul dintre cei mai utilizați indici din această categorie este forfecarea verticală a vântului dintre stratul din vecinătatea solului și cel de la 6 km altitudine. În studiul nostru, nivelul de 6 km a fost aproximat cu nivelul de 500 hPa.

Ultima categorie de indici utilizați sunt cei compuși cu ajutorul altor indici sau prin utilizarea parametrilor termici și dinamici. Primul dintre indici, cu o istorie foarte îndelungată a utilizării este KI. Indicele TT, asemeni lui KI utilizează VT la care se adună diferența dintre

punctul de rouă de la 850 hPa și temperatura de la 500 hPa. TT este utilizat pentru a prognoza numărul și severitatea furtunilor convective. Indicele SWEAT evaluează umiditatea de la nivelul inferior al troposferei, mediul convectiv (prin TT) și modificările vitezei și direcției vântului cu înălțimea (curentul vertical de nivelul inferior și mediu, vorticitatea orizontală). Când toți acești factori apar împreună, riscul pentru apariția furtunilor puternice și a tornadelor este mare.

BRN (Bulk Richardson Number) este un indice care evaluează echilibrul dintre instabilitate (CAPE) și forfecarea vântului (viteza și forfecarea pe înălțime) într-un mediu favorabil furtunilor convective.

### 3.1.2. Starea indicilor de instabilitate de la ora 12:00 UTC

#### *Indici derivați din teoria particulei*

Valorile medii ale CAPE calculat din cele două baze de date sunt de aproximativ 200 J/kg (Fig. 2). Valorile mediane sunt de aproximativ 433 J/kg în cazul ERA5 și 505 J/kg pentru datele provenite de la stațiile de aerosondaj (SA). Acestea sunt comparabile cu cele ale zilelor cu grindină de mici dimensiuni din zona centrală și vestică a Europei obținute în alte studii (Púčik et al, 2015, Taszareck et al., 2017). Se poate observa o diferență, mai ales în cazul valorilor mai mari decât quartila mediană, între ERA5 și SA. Valorile percentilei de 75 și ale celei de 90 de la SA sunt cu aproximativ 100 J/kg decât cele calculate cu datele din ERA5. Această situație nu este una specifică regiunii studiate ci este datorată subestimării CAPE, umidității din troposfera joasă a vântului și în general a parametrilor compuși în datele de reanaliză (Taszareck et. al., 2020a).

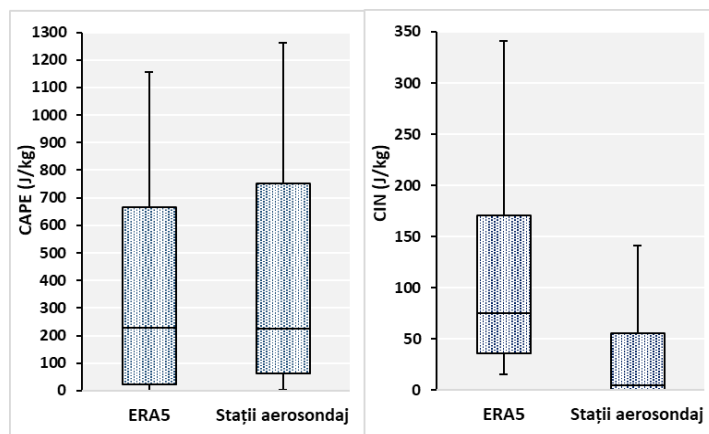


Fig. 2. Valorile indicilor CAPE și CIN de la ora 12:00 UTC, pentru zilele cu grindină.

În cazul CIN, în timp ce jumătate dintre valorile de la stațiile de aerosondaj sunt apropiate de 0, cele din ERA5 au valoarea mediană de 70 J/Kg și valori extreme care depășesc 300 J/kg. Această valoare a inhibiției convective din zilele cu căderi de grindină o putem măsura ca energie convectivă disponibilă odată ce a fost depășită.

Spațializarea valorilor CAPE la nivel lunar (Fig. 3) indică valori mai mari în zona centrală și sud-vestică în lunile mai, iunie și iulie. Pentru lunile august și septembrie, valorile maxime ale percentilei de 75 se înregistrează în zona central-sud-vestică.

Valorile cele mai scăzute ale acestui indice se înregistrează în luna aprilie fiind cuprinse în ecartul 50 J/kg până la 500 J/kg. În mai și iunie se observă un ecart mai mic al valorilor, ceea ce indică manifestarea instabilității pe toată suprafața Moldovei extracarpatică. A doua parte a intervalului cald este caracterizată de concentrarea valorilor mai mari în anumite areale cu potențial convectiv mai crescut. În lunile iunie și iulie se observă o concentrare a valorilor mai mari în aria central-vestică a regiunii studiate. Valorile ajung în aceste areale până la 1100 J/kg. Luna august este caracterizată de cele mai crescute valori ale percentilei de 75 a CAPE, cu maxime ce depășesc 1200 J/kg în zona Subcarpaților de Curbură și zona centrală a Podișului Bârladului.

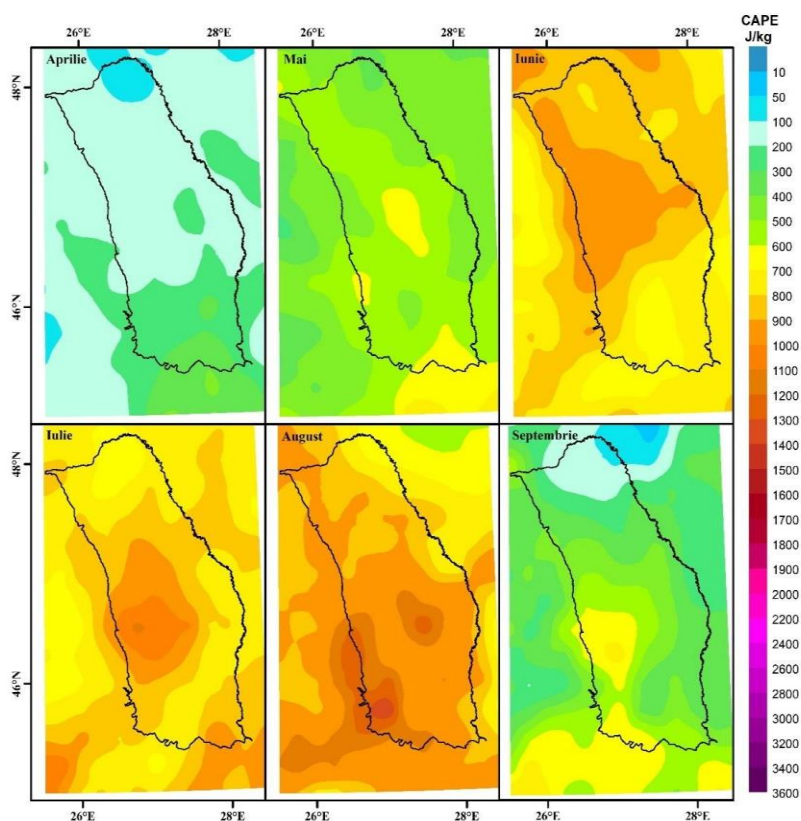


Fig. 3. Distribuția spațială a valorilor lunare a percentilei de 75 ale CAPE de la ora 12:00 UTC din zilele cu grindină (calculate din datele de reanaliză ERA5)

Nivelul de condensare prin ridicare (NCR) de la ora 12:00 UTC a efectuării aerosondajului, care poate fi asociat cu baza norilor, s-a situat la altitudini mai mari de 900 m pentru 90% dintre zilele cu grindină analizate. Înălțimi mai mici ale NCR se înregistrează pentru cazurile din lunile aprilie și mai. În lunile de vară, dar și în septembrie NCR depășește 1200 m pentru 75% dintre cazuri ajungând până la valori de 2500 m.

NC asociat în majoritatea cazurilor cu înălțimea maximă la care ajunge norul convectiv are valorile cele mai reduse în aprilie. Se mai remarcă lunile mai și septembrie cu 50% dintre cazuri în care NC a fost mai jos de 8000 m. Pentru lunile de vară, în majoritatea cazurilor NC s-a situat la altitudini mai mari de 7000 m ajungând până la peste 11000 m.

### ***Indici de instabilitate care utilizează temperatura aerului***

La nivel lunar valorile  $H_0$  sunt în concordanță cu cele ale temperaturii medii înregistrate la sol. Se remarcă lunile cele mai calde, iulie și august cu valori mediane ale  $H_0$  de aproximativ 3500 metri, urmate de lunile iunie și septembrie. În luna mai înălțimile nivelului de îngheț s-au situat în general între 2000 și 3000 m. Pentru aprilie doar valorile maxime au depășit 2500 m, fiind luna cu cele mai scăzute temperaturi medii din semestrul cald.

Ceilalți doi indici din această categorie  $GT_{0-700}$  și  $GT_{850-500}$  oferă o imagine a unor caracteristici termice și de umiditate a troposferei joase, respectiv a troposferei medii (Fig. 4).  $GT_{0-700}$  reprezintă, din acest punct de vedere, în general situația din primii 3 km ai troposferei. Valorile semestriale ale acestuia sunt cuprinse între 6,5 și 9,5  $^{\circ}\text{C}/\text{Km}$  indicând prezența unei cantități de umiditate situată mai jos de stratul limită planetar. Pentru  $GT_{850-500}$  valorile mediane semestriale sunt foarte apropiate de valoarea 6,5  $^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ . Se remarcă lunile iulie și august cu cele mai mici valori, iar aprilie și mai cu cele mai mari.

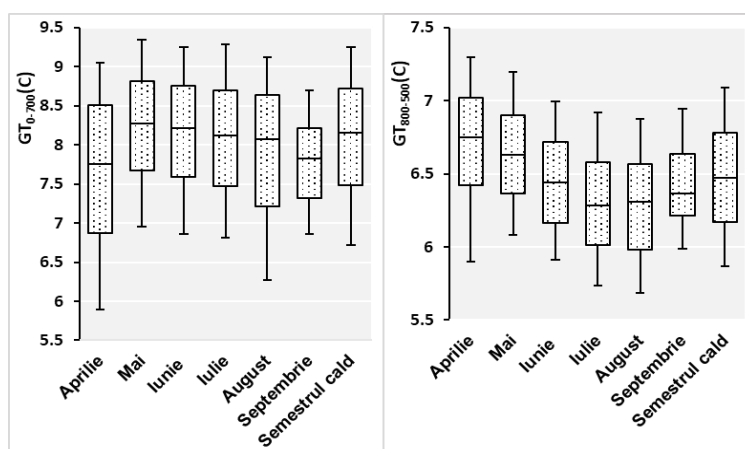


Fig. 4. Valorile lunare și semestriale ale  $GT_{0-700}$   $GT_{850-500}$  de la ora 12:00 UTC din zilele cu grindină obținute din datele ERA5.

### ***Indici de instabilitate care utilizează umiditatea aerului***

Valoarea mediană a acestor parametri calculată pentru toate zilele cu grindină analizate scade de la 75% în cazul  $UR_{850}$  până la 50% în cazul  $UR_{500}$ . Pentru  $UR_{850}$  și  $UR_{700}$  valorile nu prezintă mari diferențe între lunile semestrului cald. Se remarcă luna aprilie cu cele mai mari valori pentru  $UR_{850}$ .  $UR_{700}$  din zilele cu grindină prezintă un mers al valorilor lunare asemănător cu cel al  $UR_{850}$ . Pecentila de 90 depășește 85%, iar cea de 10 nu scade sub 40%. Valorile  $UR_{500}$  înregistrează o scădere dinspre aprilie spre august, iar în septembrie o ușoară

creștere. În cazul lunilor aprilie și mai, valorile mai mari pot fi explicate prin temperaturile mai reduse ale aerului de la nivelul de 500 hPa.

Creșterea  $RA_{500}$  este corelată cu creșterea temperaturii aerului din primii 500 m ai atmosferei, care permite o încărcare mai mare cu vapori de apă. Valorile înregistrate în iulie pentru  $RA_{500}$  sunt foarte apropiate cu cele care caracterizează furtunile convective care provoacă căderi de grindină de mari dimensiuni în Europa (Manzato, 2012; Taszarek et al., 2017).

### *Indici de instabilitate care utilizează viteza vântului*

Pentru zona studiată, cu excepția lunii mai, valorile cuartilelor superioare ale  $V_{0-500hPa}$  depășesc 10 m/s, iar cele maxime 20 m/s. Valorile minime ale acestui indice pentru toate lunile din sezonul cald se încadrează între 1 și 3 m/s.

Viteza fluxului conductor ( $V_f$ ) are valori cuprinse între 7 și 19 km/h, fiind un indice foarte util pentru determinarea vitezei de deplasare în plan orizontal a norilor convectivi. Cele mai reduse valori ale acestuia se înregistrează în luna septembrie. În celelalte luni din semestrul cald valoarea mediană a  $V_f$  este de aproximativ 12 km/h. Valorile acestuia pot fi corelate cu vitezele maselor de aer care provoacă instabilitate atmosferică pe teritoriul studiat sau de condițiile de relief și microclimat în cazul convecțiilor locale.

### *Indici de instabilitate compuși*

Interpretarea valorilor TT și KI conform literaturii de specialitate, indică un mediu moderat instabil și cu probabilitate de producere a furtunilor convective puternice pe zone restrânse (Fig 5).

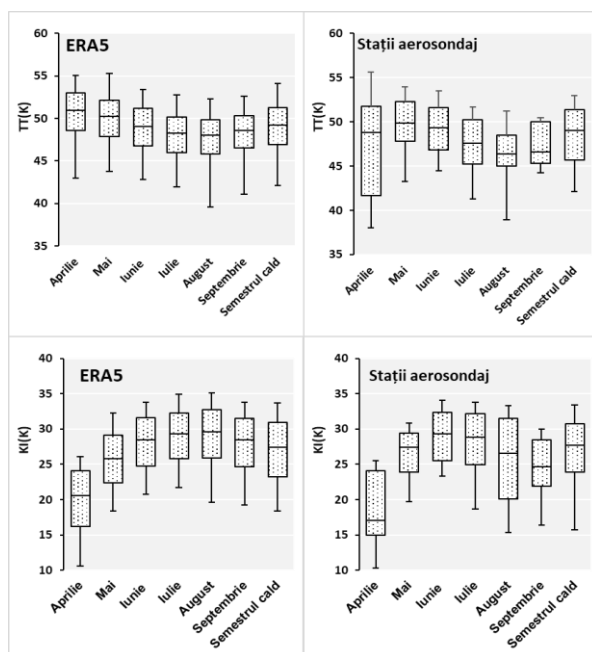


Fig. 5. Valorile lunare și semestriale ale TT și KI de la ora 12:00 UTC, din zilele cu grindină, obținute din datele ERA5 și stații de aerosondaj.

Valorile semestriale și cele lunare ale acestor doi indici calculate din ERA5 și datele de la stații sunt asemănătoare, foarte puțin mai ridicate în cazul ERA5. TT poate scoate în evidență situațiile din prima parte a semestrului cald în care instabilitatea a fost provocată de nuclee de aer rece aflate la altitudine (la nivelul de 500 hPa).

În cazul KI se remarcă cu valori mai ridicate în lunile de vară, acest indice surprinzând mai bine cazurile în care dezvoltarea norilor convectivi a fost datorată umezelii din troposfera joasă. Valori de peste 25 K ale acestui indice pentru 75% dintre zilele cu grindină se înregistrează și în luna septembrie doar în cazul celor provenite din baza de date ERA5. La nivel semestrial valorile KI situate peste mediană, obținute din cele două baze de date sunt asemănătoare, diferențierea făcându-se în cazul celor aflate sub mediană. Se observă că valorile din cuartila inferioară sunt mai reduse în cazul datelor provenite de la stațiile de aerosondaj decât în cazul celor provenite din baza de date ERA5.

Între valorile medii de la ora 12:00 UTC ale  $V_{0-500}$  și  $W_{max}$  din zilele cu grindină nu există o corelație statistică evidentă însă se poate observa o concentrare a cazurilor când valorile  $V_{0-500}$  depășesc 5 m/s iar cele ale  $W_{max}$ , 10 m/s.

Valorile cele mai mici ale  $VW_{max}$  se înregistrează în lunile aprilie și mai când se înregistrează și cele mai scăzute valori ale CAPE (Fig. 6 dreapta). Lunile iunie, iulie, august și septembrie sunt caracterizate de valori mai ridicate în care mediana depășește  $160 \text{ m}^2/\text{s}^2$ . Pentru aceste luni cuartila superioară are valori ce depășesc  $400 \text{ m}^2/\text{s}^2$  care pentru Europa sunt caracteristice furtunilor convective puternice însoțite de grindină de mari dimensiuni (Taszarek et al., 2019, 2020b).

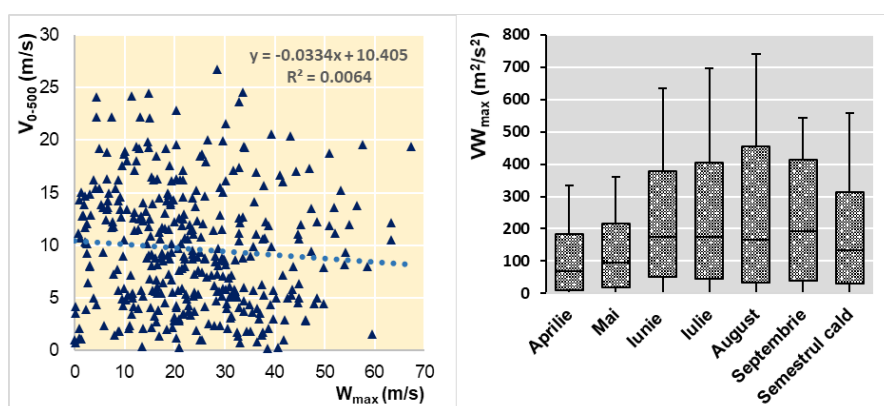


Fig. 6. Corelația valorilor medii de la ora 12:00 UTC ale  $V_{0-500}$ ,  $W_{max}$  din zilele cu grindină (stânga) și valorile lunare și semestriale ale  $VW_{max}$  de la ora 12:00 UTC din zilele cu grindină (dreapta). Datele utilizate provin din ERA5

### 3.1.3. Starea indicilor de instabilitate de la ora 00:00 UTC

Prelucrarea statistică și analiza indicilor derivați din datele de aerosondaj sau din ERA5 s-a realizat pentru ora 00:00 UTC, pentru a se putea caracteriza condițiile termodinamice ale

atmosferei dinaintea manifestării fenomenului de grindină. Situația atmosferei de la ora 00:00 UTC poate fi asimilată cu condițiile preconvective pentru aproape toate cazurile de grindină studiate.

### *Indici ai teoriei particulei*

Spre deosebire de situația de la ora 12:00 UTC, valorile CAPE de la ora 00:00 UTC provenite din ERA5 surprind mai bine condițiile de instabilitate care preced căderile de grindină. Pentru luna august se remarcă chiar valori extreme mai mari de 1000 J/kg în timp ce în cazul datelor de aerosondaj acestea nu depășesc 500 J/kg. Creșterea valorilor CAPE provenite din ERA5, din iunie către august are o corespondență inversă în cazul valorilor obținute din datele de aerosondaj (Fig. 7). De asemenea, în cazul datelor de la stațiile de aerosondaj, în aproape 50% dintre cazuri valoarea CAPE a fost 0 sau foarte aproape de 0. Se poate astfel remarca faptul că datele de reanaliză pot reda mai fidel condițiile de instabilitate la nivel local datorită rezoluției spațiale mult mai bune și a proximității acestora față de manifestarea fenomenului. CIN are valori mult mai mari în cazul datelor de reanaliză decât al datelor de la stațiile de aerosondaj. Valorile quartilelor superioare ale CIN sunt în general mai mari de 200 J/kg și ajung până la 600 -700 J/kg în luna mai și în lunile de vară. S-ar putea concluziona că acestea caracterizează un mediu foarte stabil însă încălzirea din timpul zilei și factorii dinamici pot transforma această inhibare convectivă în energie disponibilă pentru dezvoltarea norilor Cumulonimbus.

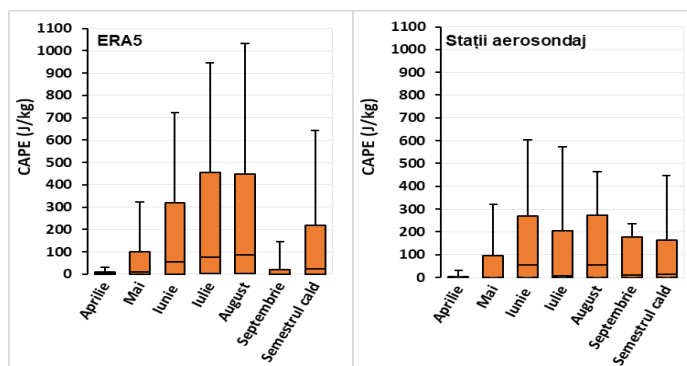


Fig. 7. Valorile lunare și semestriale ale CAPE de la ora 00:00 UTC din zilele cu grindină obținute din datele ERA5 și cele de aerosondaj.

Din analiza valorilor indicilor LI și SI de la ora 00:00 UTC din zilele cu grindină reiese că în doar 25% dintre cazuri acestea au fost negative. În cazul LI se remarcă luna iunie în care majoritatea cazurilor au fost caracterizate de valori care indicau instabilitate redusă și medie.

NCR de la ora 00:00 UTC s-a situat la altitudini mai mari de 800 m pentru 75% dintre zilele cu grindină analizate. Înălțimi mai mici ale NCR se înregistrează pentru cazurile din lunile aprilie și mai. În lunile de vară, dar și în septembrie, NCR depășește 900 m pentru 75% dintre cazuri ajungând până la valori ce depășesc 2300 m. NC, asociat în majoritatea cazurilor cu înălțimea maximă la care ajunge norul convectiv, are valorile cele mai reduse în luna



aprilie. Se mai remarcă lunile mai și septembrie, cu 50% dintre cazuri în care NC a fost mai jos de 6.000 m. Pentru lunile de vară, în majoritatea cazurilor, NC s-a situat la altitudini mai mari de 7.000 m, ajungând până la peste 11.000 m (Fig. 8 ). Valorile NC, cu variabilitate mult mai mare față de cele ale NCR influențează foarte mult și înălțimea norilor ( $H_{nor}$ ). În luna aprilie, doar în cazul valorilor situate peste percentila de 75,  $H_{nor}$  depășește 5000 m, iar în luna mai în jumătate dintre cazuri  $H_{nor}$  se situează deasupra acestei valori. În lunile iunie, iulie și august 75% dintre înălțimile norilor determinate prin valorile NC și NCR, a fost cuprinse între 4.000 m și 10.000 m.

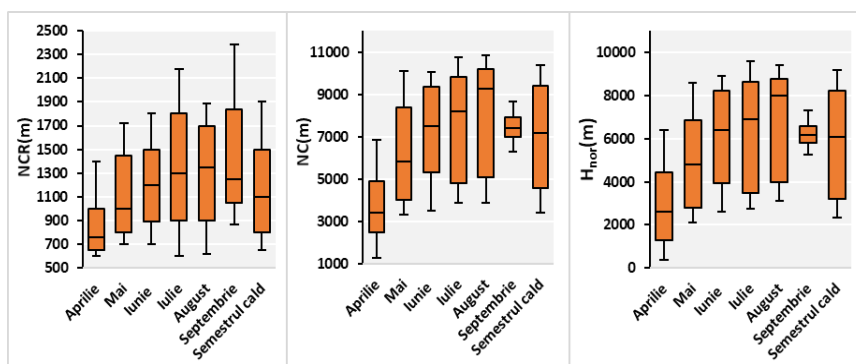


Fig. 8. Valorile lunare și semestriale ale NCR, NC<sub>0</sub> și H<sub>nor</sub> de la ora 00:00 UTC din zilele cu grindină obținute din datele de aerosondaj

### **Indici ai temperaturii**

Indicii calculați cu ajutorul temperaturii de la diferite niveluri de la ora 00:00 UTC au valori foarte apropiate cu cei calculați pentru ora 12:00 UTC. Înălțimea izotermei de 0°C crește din luna aprilie către luna august, iar la nivelul întregului semestru cald, pentru aproximativ 75% dintre cazuri se află mai sus de 2.500 m deasupra solului. Gradienții termici GT<sub>0-700</sub> și GT<sub>800-500</sub> înregistrează o scădere de la începutul sezonului convectiv către sfârșitul acestuia mai ales în cazul valorilor quartilelor superioare. Cele mai scăzute valori ale GT<sub>800-500</sub> sunt înregistrate în lunile iulie, august și septembrie (mediana în jurul valorii de 6,2 °C/km și valori mai mici de 6 °C/km pentru cazurile aflate sub percentila de 25).

### **Indici cinematici**

Pentru V<sub>0-500</sub>, valorile mediane semestriale și lunare sunt foarte apropiate de 10 m/s, excepție făcând luna mai cu valori mai reduse.

Pentru teritoriul Europei, studiile recente indică valori mai reduse ale acestui parametru (15 m/s), de la care probabilitatea de cădere a grindinei de mari dimensiuni crește (Taszarek et al., 2017, 2020b; Kunz et al., 2020). Pentru teritoriul studiat, quartila superioară a V<sub>0-500</sub> are valori apropiate sau care depășesc acest prag. Distribuția valorilor pentru ora 00:00 UTC este asemănătoare cu cea înregistrată în timpul amiezii. Viteza și direcția vântului de la nivelul de 500 hPa sunt determinate de circulația generală a atmosferei, iar variabilitatea lor temporară

este mai mare decât intervalul de 12 ore dintre cele două momente ale zilei pentru care s-au analizat valorile acestei variabile.

### ***Indici ai umidității***

Analiza umidității relative de la cele trei niveluri de presiune standard indică valori mediane și ale quartilelor inferioare mai mici decât în situațiile de la ora 12:00 UTC. Valorile minime pentru UR<sub>700</sub> ajung la 35%, iar pentru UR<sub>500</sub> la 15% în lunile din a doua parte a semestrului cald (Fig. 9).

Valorile mediane ale RA<sub>500</sub>, de 9 g/kg și ale AP, de 27 mm și distribuția lor, sunt similare cu cele care au caracterizat zilele cu căderi de grindină, cu diametrul greloanelor de până în 2 cm în Europa (Taszareck et al., 2020b). Distribuția lunară a valorilor acestor parametri arată o creștere a valorilor odată cu procesul de încălzire al atmosferei.

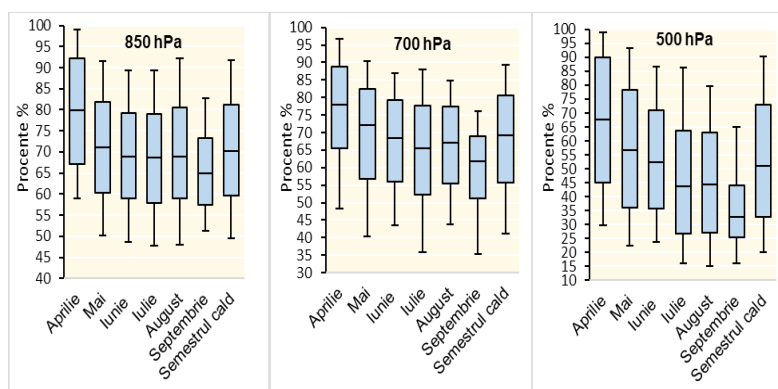


Fig. 9. Valorile lunare și semestriale ale UR<sub>850</sub>, UR<sub>700</sub> și UR<sub>500</sub>, de la ora 00:00 UTC din zilele cu grindină obținute din datele ERA5

### ***Indici de instabilitate compuși***

În cazul indicilor TT și KI se observă o capacitate mai bună de a caracteriza mediul preconectiv a primului dintre aceștia. În peste 75% dintre cazuri, valorile TT prognozează un mediu favorabil dezvoltării furtunilor convective orajoase puternice. KI nu depășește 40<sup>0</sup> K nici în cazul valorilor sale maxime înregistrate, însă pentru 50% dintre cazuri caracterizează un mediu moderat instabil. Se poate constata însă, că valorile celor doi indici sunt în majoritatea cazurilor mai mari decât cele medii ale lor (TT=24 K și KI = 20 K) înregistrate în timpul lunilor de vară în regiunea Moldovei, într-un studiu realizat la scară continentală (Siedlecki, M., 2009).

Valorile quartilelor superioare ale VW<sub>max</sub> din lunile de vară indică un mediu favorabil dezvoltărilor convective care pot provoca căderi de grindină. Valorile din cuartila superioară din cele trei luni de vară depășesc 200 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> ajungând până la peste 200 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> în iulie și august. În lunile de primăvară și în septembrie valorile acestuia sunt foarte reduse și nu au o bună capacitate de a prognoza grindina.

## 4. PROGNOZA GRINDINEI PE TERITORIUL MOLDOVEI EXTRACARPATICE

### 4.1. Prognoza de scurtă durată a grindinei

#### 4.1.1. Potențialul indicilor de instabilitate pentru prognoza grindinei

Analiza statistică a fiecăruia dintre cei 23 de indici de instabilitate utilizați, realizată în subcapitolele anterioare, indică o diferență semnificativă a valorilor acestora între ora 00:00 UTC, respectiv 12:00 UTC. Valorile indicilor de la ora 12:00 UTC sunt mult mai ridicate, unii dintre aceștia caracterizând foarte bine mediul convectiv, dacă le comparăm cu valorile prag din literatura de specialitate.

Pentru verificarea existenței unor corelații statistice între indicii analizați s-au utilizat coeficientului de corelație Spearman ( $r_s$ ) (Spearman, 1904). Din matricea de corelație pentru indicii derivați din datele de aerosondaj de la ora 00:00 UTC se disting corelații foarte puternice între indici de același tip sau din “familii” diferite (Fig 10).

	CAPE	CIN	LI	SI	NCR	NC	H <sub>max</sub>	W <sub>max</sub>	H <sub>0</sub>	GT <sub>0-700</sub>	GT <sub>800-500</sub>	UR <sub>850</sub>	UR <sub>700</sub>	UR <sub>500</sub>	RA <sub>500</sub>	AP	V <sub>0-500</sub>	V <sub>f</sub>	KI	TT	SWEAT	BRN	VW	
CAPE	-	0.7	-0.8	-0.5		0.6	0.6		0.3	0.1		-0.1	0.1	0.1	0.6	0.5	-0.1	-0.1	0.5	0.4	0.4			
CIN		-	-0.6	-0.4	0.1	0.2	0.2	0.8	0.3	0.1		-0.2			0.4	0.4			0.4	0.3	0.3	-0.1	0.8	
LI			-			-0.7	-0.7	-0.8	-0.4	-0.1		0.1		-0.1	-0.7	-0.5	0.1	0.1	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	
SI				-		-0.5	-0.5	-0.5	-0.3	0.0	-0.1	0.1		-0.1	-0.5	-0.5	0.1	0.1	-0.7	-0.8	-0.8	-0.3	-0.5	
NCR					-	0.2			0.4	-0.1	0.1	-0.6	-0.5	-0.4	-0.1	-0.1		-0.1	-0.1	-0.1	-0.1		-0.1	
NC							0.6	0.6	-0.3	0.1	-0.4	-0.4	-0.1	0.6	0.4			0.2	0.2	0.4	0.6	0.5		
H <sub>max</sub>							0.6	0.5	-0.3	0.1	-0.3	-0.3	-0.1	0.6	0.4			0.2	0.2	0.4	0.6	0.5		
W <sub>max</sub>								-	0.2	0.2		-0.1	0.1	0.1	0.6	0.5	-0.1	-0.1	0.5	0.4	0.4			
H <sub>0</sub>									-	-0.4	-0.1	-0.5	-0.4	-0.2	0.7	0.6	0.0		0.2	-0.2	0.3	0.2	0.2	
GT <sub>0-700</sub>										-	0.0	0.3	0.5	0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	0.2	0.2		-0.1	0.1	
GT <sub>800-500</sub>											-	-0.3	-0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.1	0.0	-0.1	0.3	-0.1	0.1	0.0	
UR <sub>850</sub>												-	0.5	0.3	-0.1			0.1	0.1	0.1		-0.1	-0.1	
UR <sub>700</sub>													-	0.4	-0.1	0.1	-0.1		0.4	0.1		-0.1	0.1	
UR <sub>500</sub>														-		0.1		0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	
RA <sub>500</sub>															-				0.5	0.0	0.4	0.5	0.6	
AP																-			0.7	0.1	0.5	0.3	0.4	
V <sub>0-500</sub>																	-		-0.1	-0.1	0.1	-0.3	0.1	
V <sub>f</sub>																		-	-0.1	-0.1	0.2	-0.4	0.1	
KI																			-	0.5	0.6	0.2	0.4	
TT																				-		0.1	0.3	
SWEAT																					-		0.1	0.4
BRN																						-		0.4
VW <sub>max</sub>																							-	

Fig. 10. Matricea de corelație pentru 23 de indici ai instabilității derivați din datele de aerosondaj de la ora 00:00 UTC. Valorile întregi ale coeficientului de corelație Spearman ( $r_s$ ) care indică corelații puternice sunt marcate cu cele mai închise nuanțe de roșu și verde. Nivelul de semnificație  $\alpha=0,05$ . Cu gri sunt marcate autocorelațiile și corelațiile nesemnificative mai mici de  $\|0,1\|$ .

Valorile coeficienților de 0.9 sau mai mari sunt de fapt autocorelații înregistrându-se între indici care sunt calculați cu aceleași variabile termodinamice. În această situație sunt

corelații CAPE – BRN, LI – SI, KI – TT sau AP – RA<sub>500</sub>. Alte autocorelații sunt înregistrate între CAPE și indicii calculați cu ajutorul valorii acestuia:  $W_{max}$ ,  $VW_{max}$ . Cele mai evidente sunt corelațiile mari între indicii calculați pe baza teoriei particulei și cele între aceștia și indicii umidității, respectiv indicii compuși. De asemenea apar corelații cu valori ale coeficienților apropiate de 0,5 între cantitatea de umiditate din primii 500 de m (UR<sub>500</sub>) și indicii compuși.

Corelațiile negative se înregistrează între LI, SI și ceilalți indicatori datorită valorilor negative caracteristice a celor doi. Alte corelații negative precum cele între NCR și UR<sub>850</sub> sau  $H_0$  și UR<sub>850</sub> pot fi explicate prin prisma legilor termodinamice care guvernează schimbul de energie în troposfera joasă și medie.

Matricea de corelație dintre valorile indicilor calculați din datele de la ora 12:00 UTC de aerosondaj indică același tipar al valorilor coeficientului  $r_s$ . Diferența majoră constă în valorile mai mari ale coeficienților de corelație dintre indicii derivați din teoria particulei și cei ai umezelii, față de datele de la ora 00:00 UTC.

Corelațiile din cadrul indicilor teoriei particulei se înregistrează între LI sau CAPE ( $W_{max}$ ) și ceilalți indici. Scăderea valorii LI respectiv creșterea valorii CAPE se corelează foarte bine cu creșterea NC și a  $H_{nor}$  indicând faptul că stratul instabil poate urca până la altitudini foarte mari din troposferă în prezența unui flux vertical puternic.

O cantitate mai mare de apă disponibilă în troposfera joasă și medie pentru a fi ascensionată la temperaturi negative, în zona de creștere a grindinei este indicată prin corelațiile CAPE- RA<sub>500</sub>, LI - RA<sub>500</sub>, LI – AP sau  $W_{max}$ -RA<sub>500</sub>.

Dintre indicii temperaturii cel mai bune corelații le are  $H_0$  cu NC și  $H_{nor}$ . Creșterea valorii  $H_0$  este asociată cu o încălzire mai puternică a primei părți a troposferei, ceea ce determină creșterea NC și inclusiv a  $H_{nor}$  în condiții de instabilitate. Precizăm că există corelații cu valori ale coeficienților cuprinse între 0,3 și 0,4 și între CAPE -  $H_0$  sau LI -  $H_0$ .

Ora 00:00 UTC	CAPE	CIN	$W_{max}$	NCR	$H_0$	GT <sub>0-700</sub>	GT <sub>800-500</sub>	UR <sub>850</sub>	UR <sub>700</sub>	UR <sub>500</sub>	$V_{0-500}$	KI	TT	$VW_{max}$
CAPE	-	0.7	-0.1	0.6	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.7	0.1			
CIN		-	0.6	0.3	0.6	-0.2	0.1	-0.5	-0.3	-0.2		0.4		0.6
$W_{max}$			-	-0.1	0.5	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.7	0.1			
NCR				-	0.3	-0.1	0.2	-0.6	-0.5	-0.4		-0.1	-0.1	-0.1
$H_0$					-	-0.6	-0.1	-0.5	-0.5	-0.4	0.2	0.4	-0.3	0.5
GT <sub>0-700</sub>						-	0.1	0.3	0.5	0.4	-0.3	0.0	0.3	-0.2
GT <sub>800-500</sub>							-	-0.3	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	0.4	
UR <sub>850</sub>								-	0.6	0.4	0.0	0.1	0.1	-0.1
UR <sub>700</sub>									-	0.7	-0.2	0.4	0.2	-0.1
UR <sub>500</sub>										-	-0.1	0.2	0.3	-0.1
$V_{0-500}$											-	-0.1	-0.1	0.4
KI												-	0.1	0.6
TT													-	
$VW_{max}$														-

Ora 12:00 UTC	CAPE	CIN	$W_{max}$	NCR	$H_0$	GT <sub>0-700</sub>	GT <sub>800-500</sub>	UR <sub>850</sub>	UR <sub>700</sub>	UR <sub>500</sub>	$V_{0-500}$	KI	TT	$VW_{max}$
CAPE	-			-0.1	0.5		0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.7	0.1	
CIN		-		0.6	0.5	0.4	0.3	-0.6	-0.5	-0.4	0.3	0.1		0.2
$W_{max}$			-	-0.1	0.5	0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.6	0.2	
NCR				-	0.4	0.8	0.2	-0.8	-0.6	-0.5				-0.1
$H_0$					-		-0.1	-0.4	-0.4	-0.4	0.2	0.6	-0.3	0.5
GT <sub>0-700</sub>						-	0.3	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2		0.2	-0.2
GT <sub>800-500</sub>							-	-0.4	-0.4	0.1	-0.1	-0.1	0.6	0.1
UR <sub>850</sub>								-	0.6	0.4				
UR <sub>700</sub>									-	0.5	-0.1	0.1		-0.1
UR <sub>500</sub>										-	-0.1	-0.1	0.2	-0.1
$V_{0-500}$											-		-0.1	0.6
KI												-		0.5
TT													-	0.1
$VW_{max}$														-

Fig. 11. Matricea de corelație pentru valorile medii a 14 de indici ai instabilității derivați din datele ERA5 de la ora 00:00 UTC și 12:00 UTC, Valorile întregi ale coeficientului de corelație Spearman ( $r_s$ ) care indică corelații puternice sunt marcate cu cele mai închise nuanțe de roșu și verde. Nivelul de semnificație  $\alpha=0,05$ . Cu gri sunt marcate autocorelațiile și corelațiile nesemnificative mai mici de  $\|0,1\|$ .

Din datele de reanaliză ERA5 au fost utilizați un număr de 14 indici derivați în analiza statistică privitoare la gradul de corelare între aceștia.

Ies în evidență corelații semnificative între aceleași tipuri de parametri termo-dinamici ca și în cazul indicilor derivați din aerosondaj (Fig. 11). O corelație puternică există între CAPE și CIN doar în cazul observațiilor de la ora 00:00 UTC.

#### 4.1.2. Potențialul indicilor de instabilitate pentru prognoza mărimii greloanelor

Din cele 378 de zile cu grindină doar în cazul a 189 dintre ele au existat informații referitoare la diametrul maxim al grelonului de grindină. Pentru cele trei clase de mărimi ale diametrelor, mică (<2 cm), mare (între 2 și 4 cm), respectiv foarte mare (> 4 cm) au fost analizate statistic valorile unor indici care în subcapitolele anterioare au dovedit o capacitate bună de a prognoza căderile de grindină.

Valorile indicatorului CAPE realizează o bună diferențiere între clasele de mărimi ale diametrelor pentru cele două ore de observație (Fig 12). Pentru ora 00:00 UTC, atât în cazul valorilor provenite din ERA5 cât și a celor provenite de la stațiile de aerosondaj, valoarea mediană pentru grindina mică și cea mare este sub 100 J/kg, multe dintre cazuri fiind caracterizate de lipsa CAPE.

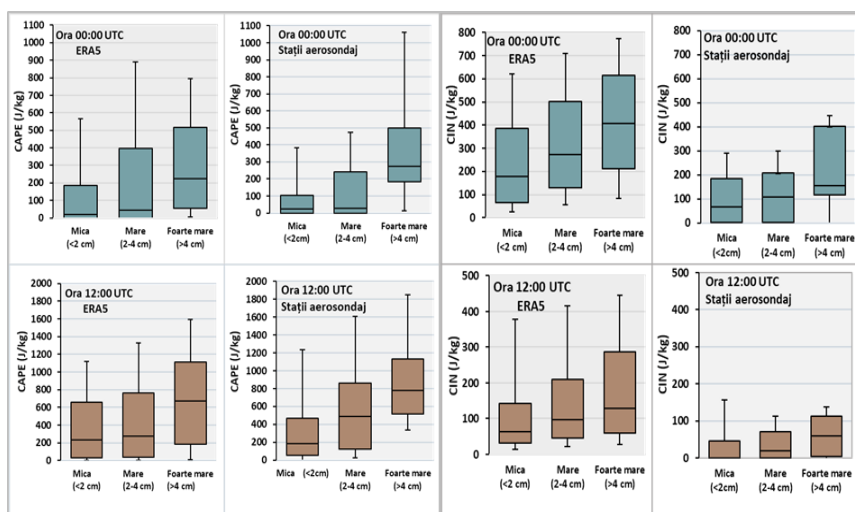


Fig. 12. Valorile CAPE și CIN de la ora 00:00 UTC și 12:00 UTC în funcție de mărimea grindinei

Valorile LI atât de la ora 00:00 UTC, cât și de la ora 12:00 UTC, înregistrează o scădere odată cu creșterea diametrului grelonului de grindină. Cea mai evidentă este situația pentru valorile de la ora 12:00 UTC, ceea ce face ca LI să fie un bun indicator între mediul convectiv care poate cauza căderi de grindină de mici dimensiuni și cel care poate cauza grindină de mari și foarte mari dimensiuni.

Dintre indicii din aceeași categorie ca și CAPE, cei mai utilizați, care caracterizează foarte bine mediul convectiv și fac o diferențiere clară între categoriile de mărime a grindinei

(Púčík et. al., 2015, Taszarek et. al., 2017) sunt NCR și NC. Se observă că grindina de dimensiuni mari și foarte mari este favorizată într-un mediu convectiv în care baza norilor este aflată la o înălțime mai mare de 1200 m deasupra solului. De asemenea, o înălțime mare a NC determină creșterea volumului și a masei greloanelor de grindină (Fig 13).

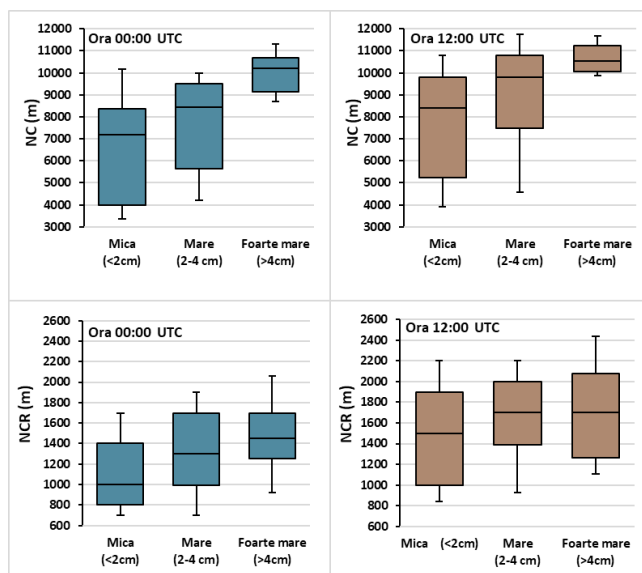


Fig. 13. Valorile NCR și NC de la ora 00:00 UTC și 12:00 UTC în funcție de mărimea grindinei

Valorile  $V_{0-500hPa}$  cresc odată cu creșterea severității grindinei. Creșterea este mai pronunțată între categoria grindină mare și grindină foarte mare decât între categoria grindină mică și cea mare. Situația poate fi o consecință a faptului că grindina foarte mare este legată aproape exclusiv de dezvoltările convective supercelulare (Smith et al., 2012), în timp ce grindina mai mică poate apărea și în furtuni mai slab organizate.

### ***Indici complecși de prognoză a mărimii grindinei***

În ultimii ani au fost propuse mai multe formule prin care se poate prognoza mărimea probabilă a grindinei bazate pe valorile unor indici ai instabilității.

Indicele de prognoză a mărimii grindinei (IPMG) propus de Taszarek (2019) este adaptat caracteristicilor mediului convectiv care generează căderi de grindină de mari dimensiuni în Europa. Utilizarea acestui indice cele 189 de zile cu grindină pentru care au existat informații referitoare la diametrul maxim al greloanelor s-a realizat atât pentru datele de ora 00:00 UTC, cât și pentru cele de la ora 12:00 UTC.

Aplicarea formulei pentru IPMG pentru datele de aerosondaj de la amiază indică rezultate mult mai bune mai ales în cazul grindinei de până în 2 cm în diametru. Estimări bune sunt și pentru unele cazuri în care grindina a avut diametrul între 2 și 3 cm. Prognozarea diametrului pentru grindina mare și foarte mare este mult subestimat.

### ***4.1.3. Modele matematice de prognoză a grindinei***

Instrumentele de prognoză meteorologică de ultimă generație includ mai multe modele care iau în considerare diferite scale spațiale și temporale ale turbulențelor atmosferice.

Modelul HAILCAST este special conceput pentru predicția diametrului maxim al grindinei combinând un model teoretic al unui nor convectiv și unul creșterii greloanelor în funcție de timp. HAILCAST a fost inițial dezvoltat de Poolman (1992) pentru aplicare în Africa de Sud și ulterior modificată ulterior de Brimelow și colab. (2002) și aplicat în Canada și SUA (Jewell și Brimelow, 2009), prin utilizarea datelor de la stațiile de aerosondaj. Brimelow et al (2006) au implementat HAILCAST pe un model de predicție a vremii și au constatat că acesta are rezultate bune în prognoza dimensiunii maxime a grindinei.

În ultimii ani, HAILCAST a fost utilizat în mai multe studii, odată cu integrarea sa în modele de prognoză a vremii. Una dintre cele mai importante ipoteze ale HAILCAST este utilizarea unui model al norului convectiv pentru a simula un curent ascendent specific furtunilor cu grindină

Melick et al. (2014) au utilizat modelul HAILCAST ca parte a experimentului de prognoză din primăvara anului 2014, din SUA și au concluzionat că acesta supraestimează mărimea grindinei. Verificarea capacității de prognoză a WRF-HAILCAST pentru o perioadă de mai multe săptămâni în mai 2014 și 2015 a arătat că, atunci când prognoza convecțiilor realizată de WRF a fost bună, diferența dintre diametrul prognozat al grindinei din WRF-HAILCAST și cel înregistrat a fost 1,27 cm pentru 66% dintre cazuri (Adams-Selin și Ziegler, 2016).

## **4.2. Caracteristici sinoptice ale zilelor cu căderi de grindină – prognoza de medie durată**

### ***4.2.1. Perioadele sinoptice și mase de aer care generează furtuni cu grindină***

Situațiile sinoptice caracteristice zilelor cu căderi de grindină sunt diferite în funcție de perioada din an în care au loc și de cuplajele principalilor centri barici ce influențează clima continentului. Pentru sezonul de vegetație, Topor și Stoica (1965) au distins trei perioade sinoptice cu grad mare de regularitate și stabilitate în repartitia presiunii atmosferice și două cu grad mare de variabilitate a repartiției presiunii Această repartitie a presiunii atmosferice la nivelul Europei are consecințe directe în plan climatic pentru România și implicit pentru regiunea Moldovei.

Pentru zilele cu căderi de grindină analizate în studiul de față s-a realizat spațializarea presiunii medii la nivelul mării pentru zona central-sud-estică a Europei având în centru regiunea studiată. Caracteristica generală este reprezentată de valoare scăzută a presiunii medii la nivelul mării în zona României pentru zilele cu căderi de grindină (Fig. 14). În sezonul cald a fost bine observat un mecanism de producere a precipitațiilor de origine convectivă întreținut



de umiditatea pontică. Cele mai mari cantități mari de ploaie cad peste zone deluroase din Moldova unde mecanismul convectiv este menținut și de mediul orografic (Ionițe și Sfîcă, 2016).

Situația din lunile aprilie și mai indică existența unui nucleu de joasă presiune deasupra României și a Peninsulei Asia Mică în timp ce nordul și estul Europei sunt caracterizate de valori de peste 1014 hPa. Caracteristici asemănătoare ale valorii acestui parametru se înregistrează și în cazul lunii septembrie. În schimb, în lunile de vară valorile cele mai scăzute valori de pe teritoriul României se regăsesc chiar în regiunea studiată. Un nucleu de joasă presiune cu valori ce scad sub 1000 hPa este prezent în sud-estul extrem al Peninsulei Asia Mică.

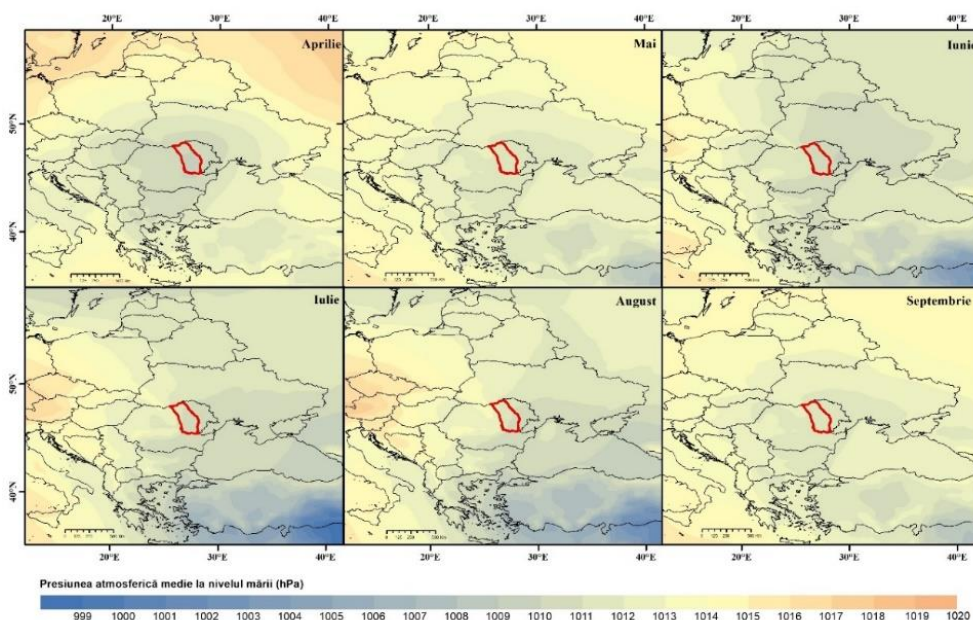


Fig. 14. Presiunea atmosferică medie la nivelul mării la ora 12:00 UTC din zilele cu grindină (din datele ERA5)

#### 4.2.2. *Tipuri de circulație atmosferică din zilele cu grindină, conform clasificărilor automate GWT și WLK și descrierea mediului convectiv*

Prin utilizarea metodelor obiective de clasificare a tipurilor de circulație atmosferică GWT și WLK, centrate pe teritoriul Moldovei din semestrul cald al intervalului 1981-2020 au fost identificate anumite tipuri cu frecvență mai mare asociate cu căderile de grindină.

Distribuția celor 357 de zile cu căderi de grindină în funcție de tipurile de circulație ale clasificării WLK, indică existența a câtorva tipuri majore ale direcției fluxului de la nivelul mediu al atmosferei, care determină manifestarea furtunilor convective. Pe baza acestor



observații au fost identificate 5 tipuri de circulație reprezentative pentru zilele cu căderi de grindină analizate.

1. **Flux vestic puternic (FV).** Acesta este reprezentat de două tipuri de circulație foarte asemănătoare, diferențându-le doar câteva grade ale direcției fluxului de la nivelul mediu al troposferei. În cazul TC6 fluxul vestic este foarte puternic, iar în cazul TC13 acesta este încorporat într-o structură asemănătoare unui talveg. Aceste tipuri de circulație însumează 13,5% din totalul numărului de zile din semestrul cald al perioadei analizate, dar reprezintă 29,1% din numărul de zile cu grindină.

2. **Flux sud-vestic foarte puternic (FSV).** Această situație sinoptică este reprezentată de TC12 și are o frecvență mai mică de 4% din totalul zilelor, dar concentrează 6% din zilele cu grindină.

3. **Nucleu rece de altitudine/ciclon de altitudine (CA).** Acest tip de structură este descrisă de TC8. Aceste condiții sunt specifice pentru 33,1% dintre zilele cu grindină și 28% pentru numărul total de zile.

4. **Flux nord-vestic (FNV)** reprezentat de TC14. Frecvența acestui tip de circulație este 5,9% și concentrează doar 5% din zilele cu grindină indicând un grad mai scăzut de reprezentativitate a acestor condiții atmosferice.

5. **Flux slab nord-estic (FNE).** Acest tipar al vectorului vântului de la 700 hPa este reprezentat de TC1. Acest tip deține 27,2% din numărul total de zile, dar numai 19,5% din numărul de zile cu grindină.

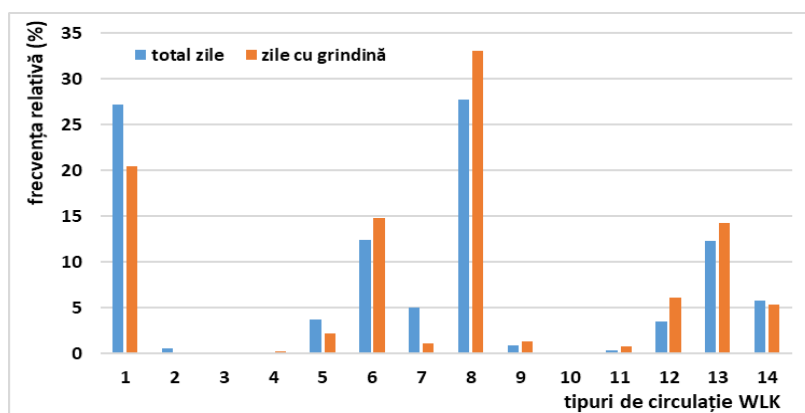


Fig. 15. Frecvența tipurilor de circulație ale clasificării WLK din numărul total de zile din perioada semestrului cald a intervalului 1981-2020 (coloanele albastre) și din numărul total de zile cu grindină înregistrate (coloanele portocalii)

Cele 5 tipuri de circulație specifice pentru aproximativ 83% dintre zilele cu grindină au fost caracterizate din punct de vedere termodinamic cu ajutorul a cinci indici de instabilitate. Patru dintre indici au fost analizați anterior în studiu ( $CAPE$ ,  $V_{0-500}$ ,  $VW_{max}$  și  $KI$ ), iar al cel de-al cincilea este reprezentat de divergența fluxului vertical al umezelii ( $DFVU$ ).  $DFVU$  este rata orizontală a debitului de umiditate, pe metru pătrat, pentru o coloană de aer care se extinde de la suprafața Pământului până la limita atmosferei. Divergența sa orizontală este rata de

umiditate pe mp care se deplasează dintr-un punct spre exterior. Acest parametru are valori pozitive pentru umiditatea care se deplasează către exterior (divergență) și negativă pentru umiditatea care se concentrează spre un punct (convergență).

Pentru tipurile de circulație caracterizate de flux vestic puternic (FV) și flux sud-vestic (FSV), valorile cele mai mari ale CAPE sunt concentrate spre sudul Moldovei. Circulația caracterizată de fluxul predominant nord-estic are cele mai crescute valori medii ale CAPE, cuprinse între 600 și 900 J/kg. În același timp  $V_{0-500}$  înregistrează cele mai reduse valori în comparație cu celelalte tipuri de circulație. Arealul nord-estic al zonei studiate este caracterizat de o convergență puternică a umezelii și valori mari ale KI.

Caracterizarea mai detaliată a circulației atmosferice la nivelul solului a fost realizată prin utilizarea clasificării obiective GWT. Pentru aceasta a fost utilizat același domeniu ca extindere spațială ca și în cazul clasificării WLK, centrat pe zona de interes și anume Moldova extracarpatică, obținându-se 18 tipuri de circulație. Cele 18 tipuri de circulație prezintă o omogenitate mai mare a frecvențelor în comparație cu WLK.

Din analiza tipurilor de circulație derivate din clasificarea GWT din zilele cu grindină (Fig. 16) au fost identificate următoarele situații cu specificitatea cea mai crescută:

1. Circulație nord-vestică în condiții ciclonale (TC3 și TC4) și anticiclonale (TC11, TC12). Aceste tipuri de circulație sunt suprareprezentate în comparație cu frecvența lor din totalul zilelor, însumând aproximativ 29% dintre zilele cu grindină.
2. Circulație vestică în condiții ciclonale (TC1) și anticiclonale (TC9). Acest tip major de circulație este caracteristic pentru doar 8% dintre zilele cu grindină.
3. Circulație nord-estică în condiții ciclonale (TC5, TC6) și anticiclonale (TC13, TC14). Dintre tipurile de circulație specifice acestui tipar major doar cele în condiții ciclonale sunt foarte bine reprezentate. În total, acest tip major însumează 37% dintre zilele cu grindină analizate.
4. Condiții pur ciclonale (TC17). Suprareprezentarea în cazul acestui tip este cea mai evidentă, deținând 10,3% dintre zilele cu grindină în timp ce frecvența sa din totalul zilelor este de doar 3,7%.

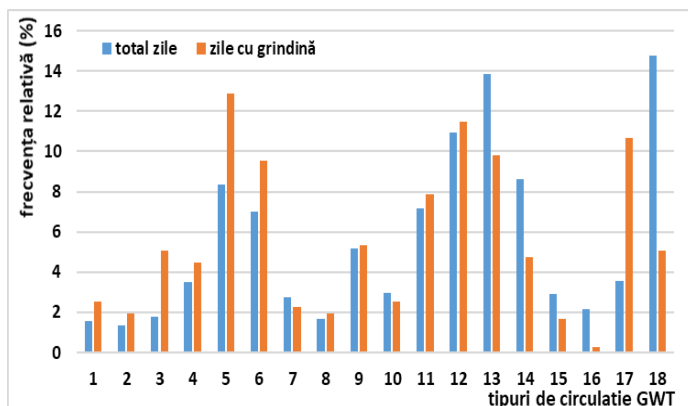


Fig. 16. Frecvența tipurilor de circulație ale clasificării GWT din numărul total de zile din perioada semestrului cald a intervalului 1981-2020 (coloanele albastre) și din numărul total de zile cu grindină înregistrate (coloanele portocalii)

În afară de aceste tipuri majore care însumează aproximativ 85% dintre cazuri se înregistrează căderi de grindină și în cazul circulației sud-vestice (CT2 și CT10), însă frecvența lor este foarte redusă. De asemenea, clasificarea GWT indică apariția a 5% dintre căderile de grindină în condiții anticiclonale la nivelul solului (TC18).

#### 4.2.3. Tipare sinoptice asociate căderilor de grindină

Scopul final al acestui demers a fost reprezentat de identificarea unor tipare sinoptice cât mai bine individualizate, care creează condiții pentru dezvoltarea furtunilor convective însoțite de grindină. Corelarea tipurilor de circulație din cadrul celor două metode de clasificare a fost realizată utilizând un tabel de contingență (Fig. 17).

WLK/GWT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Total
1	1	1		3	17	6	2		2	2		6	18	6	3		1	5	73
4															1				1
5		1				1			1	1					1		1	2	8
6		2	2	5		1			11	3	10	6	2				3	8	53
7											1	3							4
8			2	8	21	25	5	4		1	4	6	11	11	1		18	1	118
9					1							2	2						5
11						2											1		3
12		5	2		1			2	1		1					1	9		22
13		1	1	10	2	4		1	1	4	2	11	7				5	2	51
14			1	2	2						1	11	2						19
Total	9	7	18	16	46	34	8	7	19	9	28	41	35	17	6	1	38	18	357

Fig. 17. Tabelul de contingență dintre tipurile de circulație ale WLK și GWT din zilele cu grindină (semestrul cald al intervalului 1981-2020)

Din acest tabel, corespondențele dintre tipurile de circulație ale WLK și GWT cu cel mai mare număr de cazuri au fost grupate în zece tipare majore de circulație, în funcție de specificul lor. Aceste 10 tipare de circulație atmosferică au fost denumite în funcție de caracteristicile fluxului vântului de la nivelul mediu al troposferei și tipul specific de circulație de la nivelul solului astfel:

1. Flux nord-estic cu circulație estică în regim ciclonal
2. Flux nord-estic cu circulație nord-estică în regim anticiclonal (FNE-NEA)
3. Flux nord-estic cu ciclon la sol (FNE-Cicl)
4. Flux sud-estic cu circulație nord-vestică în regim anticiclonal (FSE-NVA)
5. Flux vestic cu circulație nord-vestică în regim ciclonal (FV-NVC)
6. Flux vestic cu circulație nord-vestică în regim anticiclonal (FV-NVA)
7. Flux vestic cu anticiclon la sol (FV-Ant)
8. Ciclon de altitudine cu circulație nord-vestică în regim ciclonal și circulație nord-estică în regim ciclonal (CA-NVC-NEC)

9. Ciclon de altitudine cu circulație nord-vestică în regim anticiclonal și circulație nord-estică în regim anticiclonal (CA-NVA-NEA)

10. Ciclon de altitudine cu ciclon la sol (CA-Cicl)

Cele 10 tipare majore ale circulației atmosferice au fost responsabile pentru crearea condițiilor de instabilitate pentru 65% dintre zilele cu grindină analizate. Cea mai mare frecvență (28%) o au tiparele a căror caracteristică principală este dată de prezența unui nucleu de joasă presiune în altitudine. Acestea sunt urmate ca frecvență de tiparele în care fluxul principal la nivelul de 700 hPa este din direcție vestică, iar circulația generală la nivelul solului este nord-vestică (14%).

Tiparele de circulație caracterizate de flux nord-estic în troposfera medie și același tip de circulație la sol în ambele condiții, ciclonale și anticiclonale, au determinat condițiile de instabilitate din aproximativ 13% dintre zilele cu grindină. Cu frecvența cea mai redusă sunt tiparele FSE-NVA, FNE-Cicl și FV-Ant.

Mediul convectiv caracteristic celor 10 tipare sinoptice prezintă diferențieri substanțiale în cazul unora dintre acestea, dar și asemănări (Fig. 18). Mediul convectiv asociat tiparului sinoptic FSV-NVA nu dispune de o cantitate mare de energie potențială pentru dezvoltarea furtunilor cu grindină, valorile CAPE fiind reduse. Diferența de magnitudine a vântului între suprafață și 500 hPa are valori crescute (8-11 m/s), însă mai reduse decât în cazul tiparelor caracterizate de flux nord-estic. Indicele KI are valorile cele mai crescute în sudul Moldovei și se înregistrează unele zone cu convergență a fluxului de umiditate.

Tiparele FV-NVC și FV-NVA pot fi asociate cu pătrunderea maselor de aer oceanic dinspre vestul Europei către regiunea Moldovei, prin Câmpia Germano-Polonă. Sunt caracterizate de valori mari ale CAPE și reduse ale  $V_{0-500}$ . În cazul FV-NVC, pentru aproape întreaga regiune studiată, valorile KI sunt de 30 K, iar fluxul umezelii are valori ce caracterizează o convergență slabă. Pentru FV-NVA este caracteristică o valoare mare a KI și a convergenței umezelii în zona nord-estică a Moldovei. De asemenea tiparul FV-NVA pare a fi mult mai favorabil furtunilor cu grindină de mari dimensiuni.

O situație atipică sub aspect sinoptic o reprezintă tiparul FV-Ant. Acesta este caracterizat de valori mari ale CAPE și  $V_{0-500}$  în zona carpatică și subcarpatică a Moldovei. Chiar în condițiile unui câmp baric de înaltă presiune la sol și a unei valori a CAPE foarte scăzute, inițierile convective orografice pot fi deplasate către zona de podiș și câmpie a Moldovei de un flux vestic puternic.

Tiparele CA-NVC-NEC și CA-NVA-NEA sunt caracterizate de advecția aerului rece și umed dintr-un nucleu de joasă presiune aflat la altitudine, pe fondul unor temperaturi crescute la sol și în troposfera joasă. Pentru cele două tipare, valorile cele mai crescute ale CAPE se regăsesc în zona centrală a Moldovei. În cazul CA-NVC-NEC, valorile  $V_{0-500}$  sunt cuprinse între 9 și 11 m/s, crescând posibilitatea dezvoltării unor furtuni convective foarte puternice, fapt confirmat și de diametrul maxim înregistrat al greloanelor de grindină (6 cm).

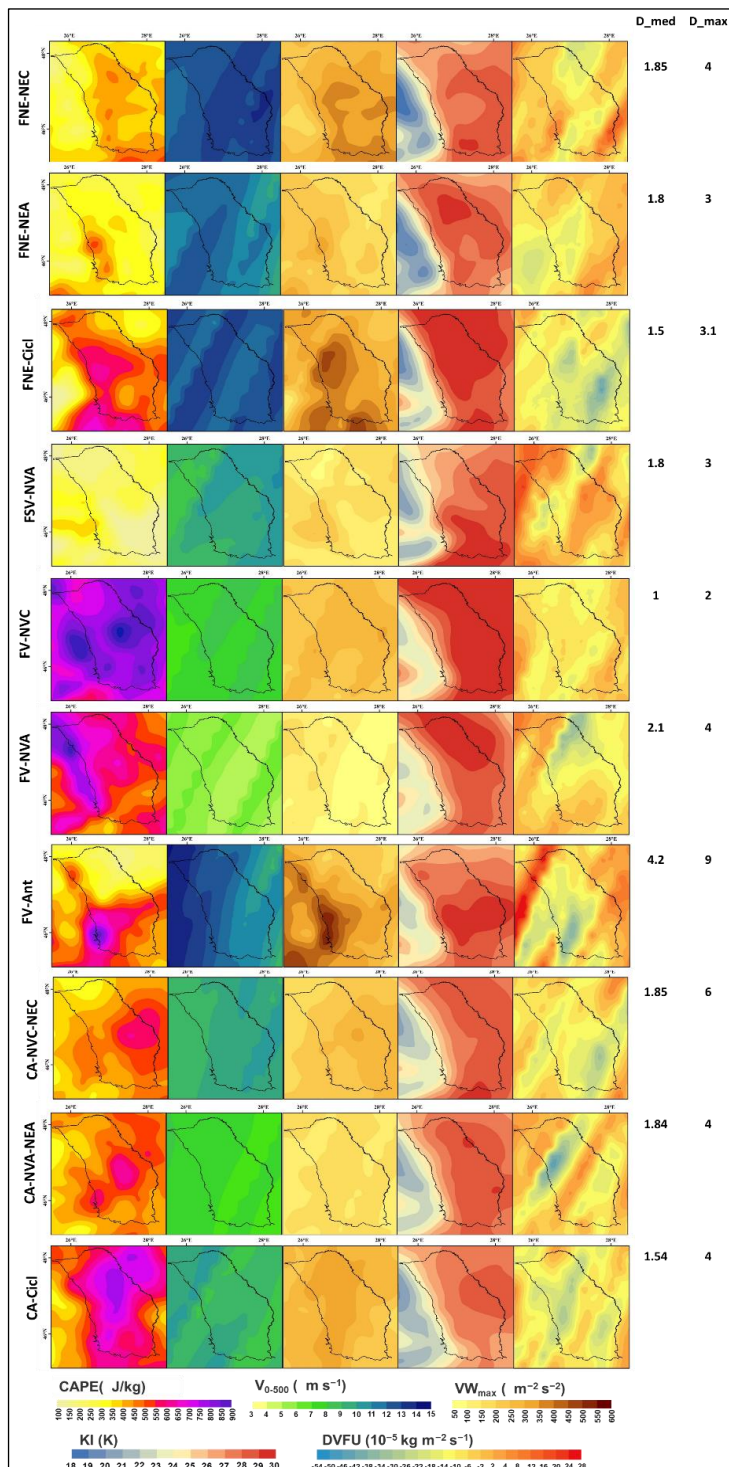


Fig. 18. Valorile medii ale CAPE,  $V_{0-500}$ ,  $VW_{max}$ , DVFU și KI din zilele cu grindină încadrate în cele mai frecvente tipare sinoptice (D\_med este diametrul mediu al grindinei, iar D\_max diametrul maxim)

### **4.3. Prognoza imediată a grindinei – nowcasting-ul**

#### **4.3.1. Radarele meteorologice – caracteristici principale**

Datele provenite de la radarele meteorologice sunt utilizate atât pentru avertizările meteorologice privind posibile căderi de grindină, precum și pentru sistemele de combatere a grindinei existente în numeroase țări și inclusiv pe teritoriul României. Principiul de bază a radiolocației este reprezentat de descoperirea și determinarea poziției (amplasării) diferitor obiecte prin sondajul cu radiunde a orizontului

Teritoriul zonei studiate este, în cea mai mare parte bine acoperit de radarul WSR88 D, poziționat la Bârnova, județul Iași, la o altitudine absolută de aproximativ 400 m.

Informații radilocaționale mai precise pentru sudul zonei studiate vor putea fi prelevate cu ajutorul radarului Doppler cu dublă polarizare poziționat la Grivița, județul Ialomița. Acest radar este de tipul METEOR700S, în badă S și aparține Autorității pentru Administrația Sistemului Național Antig grindină și de Creștere a Precipitațiilor (AASNACP), fiind utilizat în principal pentru activitatea de combatere a grindinei din zonele viticole din Vrancea, Galați, Buzău și Prahova (<https://madr.ro/>).

Altă sursă foarte bună de date pentru prognoza imediată a grindinei în arealul studiat este reprezentată de radarele meteorologice de tip MRL5 ale Serviciului Special pentru Influențe Active asupra Proceselor Hidrometeorologice din Republica Moldova. Radarele poziționate la Fălești, Cornești și Ceadăr-Lunga acoperă bine întreaga regiune a Moldovei extracarpate în raza de descoperire de 150 km.

#### **4.3.2. Algoritmi de detectare ai grindinei cu ajutorul radarului**

Numeroase servicii naționale de prognoză a vremii sau studii regionale (Mason, 1971; Waldvogel, 1978a 1979b; Inyukhin și Makitov, 1987; Amburn și Wolf 1997; Lenning et al., 1998; Strumpf, 2004; Foote et al., 2005; Shi et al., 2019) studii naționale (Witt et al 1998; Abshaev, 1982, Abshaev et al 2010; Skripniková și Řezáčová, 2014; Potapov și Garaba, 2016), s-au îndreptat către obținerea unor parametri derivați pentru diagnoza grindinei. O mare varietate de astfel de parametri au fost utilizați:

- reflectivitatea maximă, înălțimea reflectivității maxime
- înălțimea la care se află 50 dBZ (ecoul radar la 50 dBZ)
- înălțimea reflectivității de 50 dBZ desupra nivelului 0°C și -20°C
- reflectivitatea la 0°C și -20°C
- înălțimea primului radioecou
- înălțimea reflectivității de 45 dBZ desupra nivelului 0°C
- Vertically Integrated Liquid (VIL) – Cantitatea de apă din profilul vertical măsurată în kg/m<sup>2</sup>, densitatea VIL

- Hail Diagnosis Algorithm (HDA; Witt et al 1998) - Algoritmul de diagnoză al grindinei cu parametrii: Severe Hail Index (SHI) – Indicele de severitate al grindinei, Probability of Severe Hail (POSH) - Posibilitatea producerii grindinei de mari dimensiuni, Maximum Expected Hail Size (MEHS) - Mărimea maximă probabilă a grindinei.

În Uniunea Sovietică a fost implementat un amplu program de combatere a grindinei atât în unele zone agricole importante precum nordul Caucazului (Bibilashvili et al., 1964; Kartsivadze și Salukvadze 1974 Abshaev, 1982a), sau teritoriul actual al Republicii Moldova (Potapov et al., 2007). Acest program a dus la dezvoltarea unor noi metodologii de identificarea a norilor cu pericol de formare a grindinei și continua lor îmbunătățire. Algoritmul de detectare a celulelor convective cu probabilitate foarte mare de a provoca grindină are la bază unele valori prag ale reflectivității și înălțimea maximă la care acestea ajung. Cea mai utilizată valoare a prag a reflectivității este 45 dBZ. Se utilizează diferiți parametri corelați cu această valoare, precum înălțimea maximă la care se află ( $H_{45}$ ), înălțimea maximă la care se află 45 dBZ deasupra izotermei de 0°C ( $\Delta H_{45}$ ). Alte variabile utilizate în cadrul algoritmului de depistare a celulelor convective cu pericol iminent de cădere a grindinei, sau cu potențial mare de formare a grindinei sunt înălțimea maximă a reflectivității ( $Z_m$ ), înălțimea maximă la care ajunge  $Z_m$  deasupra izotermei de 0°C ( $\Delta Z_m$ ), cantitatea de apă din nor pe unitatea de suprafață ( $VIL$  și  $\Delta VIL_0 - VIL$  aflat deasupra izotermei de 0°C) sau cantitatea integrală de apă la diferite limite de valoare a dBZ aflată deasupra izotermei de 0°C ( $\Delta M_z$ ). Aceste variabile, în funcție de valori se pot constitui ca fiind criterii de evaluare a gradului de pericol a unor nori convectivi de a provoca căderi de grindină (Abshaev et. al., 2010).

#### ***4.3.3. Detectarea grindinei cu ajutorul imaginilor satelitare***

Utilizând imagini satelitare de înaltă rezoluție (Advanced Very High Resolution Radiometer – AVHRR) s-au dezvoltat noi modele conceptuale care facilitează detectarea convecțiilor severe, a tornadelor și a grindinei de mari dimensiuni. Din imaginile satelitare se determină temperatura de la suprafața superioară a norilor și raza efectivă a particulelor. Forța ce caracterizează manifestările severe convective este viteza mare a fluxului ascendent care poate susține greloane de grindină. Fluxurile ascendente puternice sunt puse în evidență de creșterea dimensiunii particulelor ( $r_e$ ) la mari înălțimi și temperaturi scăzute ale topului norilor ( $T$ ) deoarece picăturile nu au timp să crească prin coalescență. De asemenea, fluxul ascendent puternic întârzie faza mixtă a norului, grăbind ajungerea în faza solidă. Direcția și viteza vântului sunt factori majori ce influențează intensitatea curențului ascendent și forma norului, deci tocmai relația  $T - r_e$ . S-a observat că în cazul furtunilor puternice forma profilului  $T - r_e$  este specifică, caracterizând evoluția norului în timp și spațiu. Acesta poate indica existența grindinei și a furtunilor severe, putând da indicații și despre o posibilă creștere a greloanelor și a dezvoltării unei tornade (Rosenfeld et al., 2007).



## CAP. 5. FENOMENUL DE GRINDINĂ ÎN ARII AGRICOLE DIN MOLDOVA - CLIMATOLOGIA ȘI EVALUAREA RISCULUI

### 5.1. Climatologia fenomenului de grindină în Moldova extracarpatică

#### 5.1.1. Distribuția spațială a căderilor de grindină

Primul studiu pentru întreg teritoriul României care analizează căderile de grindină de la stațiile meteorologice pentru perioada 1950-1979 a apărut în anul 1983 (Iliescu și Popa, 1983). Din spațializarea numărului mediu de zile cu grindină pe an, pentru intervalul climatic studiat, reiese în medie de la 1 până la 2 zile cu grindină pe an în regiunile de câmpie și podiș și până la 6 zile/an în zona montană înaltă (Fig. 19 stânga). Bogdan Octavia (2005), menționează o frecvență maximă a grindinei tot în zona montană, dar mai crescută în zona Olteniei decât în studiul realizat de Iliescu și Popa, (1983). Pentru intervalul 1961-2000, în Clima României (2008), a fost realizată o hartă a distribuției spațiale a numărului mediu de zile cu grindină. Potrivit autorilor, în majoritatea zonelor din țară, numărul mediu de grindină zilele pe an este mai mic de 2 (Fig. 19 -dreapta). Distribuția numărului mediu de zile cu grindină din cele două studii este relativ asemănătoare. Pentru regiunea Moldovei, unele diferențieri există pentru încadrarea Culoarului Siretului în una din cele două clase de frecvență. Dacă pentru intervalul 1950-1979, doar jumătatea sudică a Culoarului Siretului era încadrată în clasa de frecvență 0,5-1 zile/an, pentru intervalul 1961-2000 zona acestuia cuprinsă între Suceava și vărsarea în Dunăre este încadrată în această clasă.

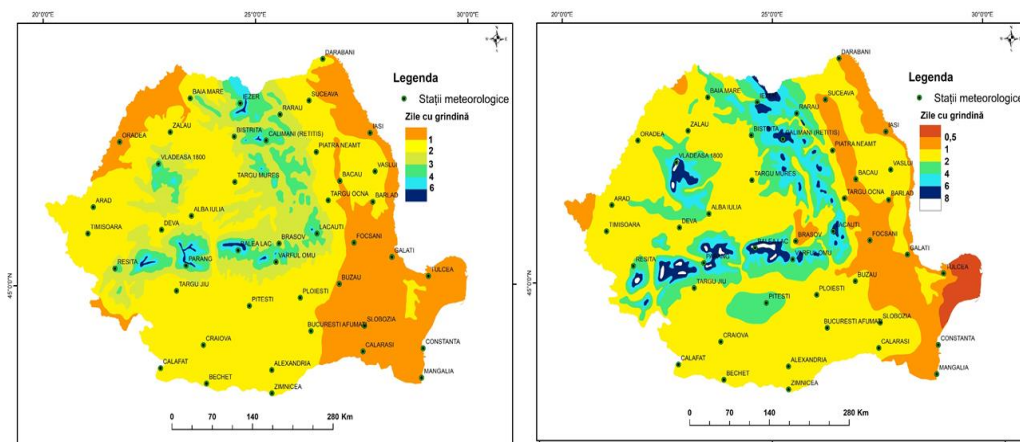


Fig. 19. Numărul mediu de zile cu grindină de pe teritoriul României, în perioada 1950-1979 (Iliescu și Popa, 1983), în partea stângă și din perioada 1961-2000 (Clima României 2008), în partea dreaptă

Pentru cea mai mare parte a zonei studiate s-a realizat o climatologie detaliată a fenomenului de grindină cu date de la stațiile meteorologice și posturi pluviometrice din perioada comună 1967-1998 (Machidon, 2009, Apostol și Machidon, 2009, Apostol și Machidon, 2011). În arealul cuprins între valea Siretului și valea Prutului se observă o



distribuție spațială a numărului mediu anual de zile cu grindină ce indică o descreștere de la vest către est. (Fig. 20-stânga). De asemenea, valori maxime, de peste 1 zi/an se înregistrează în zonele din vestul, nordul și, local, în centrul și est-nord-estul bazinului hidrografic Bârlad.

Pentru perioada 1961-2014, din analiza datelor de la 105 stații meteorologice de pe teritoriul României, distribuția spațială a numărului mediu de zile cu grindină realizată de Burcea et al., (2016), plasează cea mai mare parte a Moldovei extracarpătice în intervalul de frecvență 0,5 – 1 zile/an. Excepție fac sud-estul regiunii unde se înregistrează sub 0,5 zile/an și nordul extrem unde se înregistrează între 1 și 1,5 zile/an.

Prin utilizarea datelor privitoare la numărul mediu de zile cu grindină la stațiile și posturile pluviometrice situate între valea Siretului și cea a Prutului, publicate de Apostol și Machidon (2011) și prin completarea cu unele date de la stații aflate la vest de valea Siretului, s-a realizat harta repartiției numărului mediu anual de zile cu grindină pentru zona studiată (Fig. 20-stânga). Utilizarea metodei Kriging-ului rezidual imprimă acestei repartiții o corelație destul de puternică cu altitudinea. Descreșterea valorilor are loc de la 3 zile/an pe culmile cele mai înalte ale Subcarpaților Moldovei și a Subcarpaților Curburii, la sub 0,6 zile/an în sudul Câmpiei Moldovei, valea Bârladului și cea mai mare parte a văii Prutului.

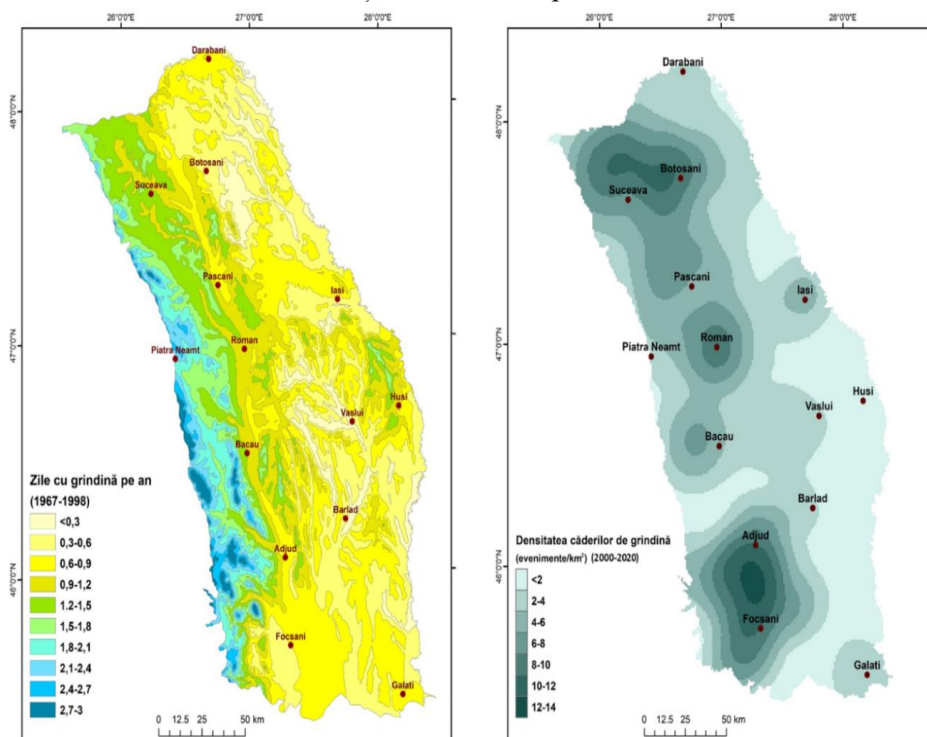


Fig. 20. Numărul mediu de zile cu grindină din zona studiată din intervalul 1967-1998 (date provenite de la stații meteorologice și posturi pluviometrice) - în partea stângă. Densitatea căderilor de grindină exprimată ca număr de evenimente pe km<sup>2</sup> din intervalul 2000 – 2020 (date provenite din surse media și raportări ESWD) – în partea dreaptă.

Utilizarea datelor provenite din ESWD și sursele media a permis realizarea unei hărți a densității căderilor de grindină din acest interval temporal. Astfel pentru perioada 2000-2020

se remarcă arealele nord-vestic și cel sud-estic cu densități mai mari de 10 căderi de grindină raportate pe km<sup>2</sup> (Fig. 20-dreapta).

### **5.1.2. Mărimea greloanelor de grindină**

Pentru datele utilizate în acest studiu, informații referitoare la mărimea greloanelor au fost disponibile pentru căderile de grindină din 189 de zile din intervalul 1979-2020. Diametrul mediu al greloanelor a fost împărțit în patru clase, de la cea a diametrelor foarte mici (<1 cm) până la cea a celor foarte mari (>4 cm). Analiza frecvenței relative a acestor clase indică faptul că în peste 65% dintre cazuri diametrul grelonului a fost cuprins între 0,5 cm și 2 cm. Grindina de mari dimensiuni (între 2 și 4 cm) a fost înregistrată în 27% din cazuri, iar cea foarte mare în aproximativ 5% dintre cazuri. Frecvența relativă a claselor diametrelor medii a grindinei pentru lunile semestrului cald, indică lunile de început (aprilie și mai) și luna de final (septembrie), ca fiind cele în care nu s-au înregistrat cazuri cu diametrul mai mare de 4 cm. Majoritatea cazurilor cu grindină de foarte mari dimensiuni au avut loc în lunile iunie și iulie. Se mai observă de asemenea că în lunile iunie, iulie și august se înregistrează cel mai mare număr de zile diametrul cuprins între 2 și 4 cm.

### **5.1.3. Intervalul diurn și anual favorabil producerii grindinei**

Evoluția diurnă a producerii grindinei indică cea mai mare a frecvență a căderilor de grindină în orele după-amiezii și o reducere în timpul nopții și în primele ore ale dimineții, în urma analizei statistice a 300 de cazuri din intervalul 1979-2020 (Fig. 21). Variația mersului diurn al grindinei din zona studiată prezintă un caracter periodic și regulat, direct legat de fluctuațiile factorilor radiativi, dinamici și fizico-geografici. Sub influența radiației solare și a caracteristicilor suprafeței active, maximum diurn se înregistrează în general în intervalul orar 15:00 – 19:00 timp local. În acest interval de patru ore au avut loc 45% dintre căderile de grindină pentru care a fost disponibilă această informație, din regiunea studiată. Un alt interval orar cu frecvență crescută a căderilor de grindină este 12:00 – 15:00 în care au avut loc 27% dintre fenomenele înregistrate. Cu aproximativ 8% dintre cazuri mai este reprezentativ și intervalul orar 19:00 – 21:00. Producerea fenomenului noaptea și dimineața este extrem de rară și este determinată de condiții sinoptice și termo-dinamice excepționale.

Pentru cea mai mare parte a zonei studiate, lunile cu cea mai mare frecvență a căderilor de grindină sunt mai și iunie. Căderile de grindină din luna mai sunt cele mai frecvente în partea estică a Câmpiei Jijiei, Podișul Piemontan Corni-Ciungi, zona de confluență a Moldovei cu Siretul și sud estul regiunii studiate. Frecvența cea mai mare în luna iunie este caracteristică nordului extern și celei mai mari părți a arealului central nord-estic și central sud-vestic. Sunt prezente și două areale în care se înregistrează cea mai mare frecvență în luna iulie și anume: bazinul mijlociu al râului Bahlui și Culmea Pietricica din arealul subcarpatic.

Din analiza frecvenței numărului de zile cu grindină în funcție de luna în care s-a produs fenomenul, se poate observa că luna mai deține aproximativ 30% dintre cazuri, iar luna iunie,

aproximativ 27%. Luna iulie deține aproximativ 22% dintre zilele cu grindină iar august 12%. Cele mai puține cazuri au avut loc în lunile aprilie (8%) și septembrie.

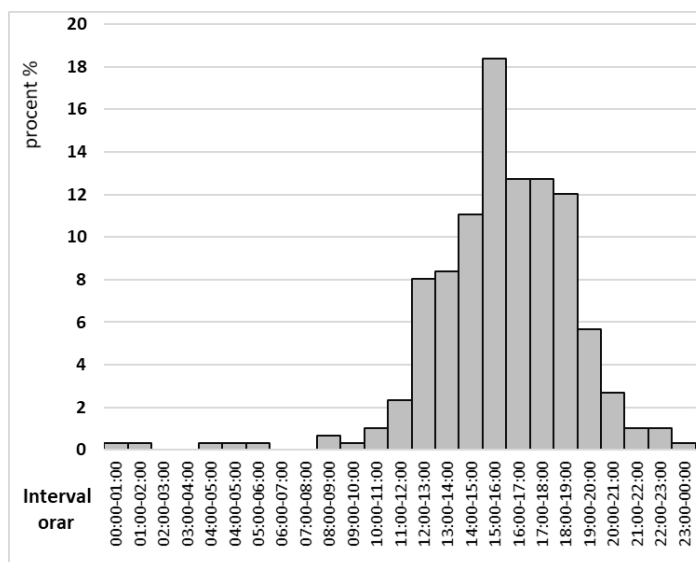


Fig. 21. Intervalul orar (timp local) de producere a căderilor de grindină (pentru 300 de evenimente care au avut loc în intervalul 1979-2020)

## 5.2. Evaluarea riscului la căderile de grindină în ariile agricole din Moldova

### 5.2.1. Metode de evaluare a riscului la grindină

Riscurile asociate furtunilor convective puternice precum grindina, ploile torențiale, vântul foarte puternic sau tornadele sunt, în unele regiuni, unele dintre cele mai mari. Dintre aceste riscuri, căderile de grindină provoacă cele mai mari pierderi economice (Kunz și Geissbuehler, 2017). Cu toate acestea, evaluarea și cartografierea riscurilor asociate furtunilor convective se află încă într-un stadiu incipient (Allen et al., 2016; Martius et al., 2018). Manifestarea căderilor de grindină are loc pe suprafețe limitate, însă pagubele pot fi foarte mari (Baldi et al., 2014), în special pentru agricultură (Lemons et al., 1942c, Gall et al., 2011, Changnon et al., 1978, 2009). Prin urmare, evaluarea riscului la căderile de grindină este una dintre cerințele necesare dezvoltării agriculturii durabile.

Conform Ghidului de Adaptare la Schimbarea Climei și Evaluare a Riscului în macromregiunea Dunării (Bojariu et al, 2014, 2015), etapele metodologice ale unei analize de risc sunt următoarele: (1) stabilirea contextului și identificarea riscului; (2) elaborarea scenariilor cu determinarea probabilității de apariție a unui anumit pericol; (3) evaluarea impactului acestui pericol specific asupra elementului selectat și supus riscului; (4) definirea nivelurilor de risc/clasificarea riscului (cantitativă sau calitativă); (5) cartografierea riscului

prin suprapunerea (combinația și analiza) cartografierii pericolelor (hazardului) și a impactului; (6) evaluarea riscului în contextul planificării priorităților și a procedurilor de urmat pentru minimizarea consecințelor (impactului). Pe baza acestei metodologii și a ghidului propus de IPCC 2020 (Reisinger et al., 2020), hărțile de evaluare a riscului pentru zona studiată au fost calculate conform schemei din Fig. 22.

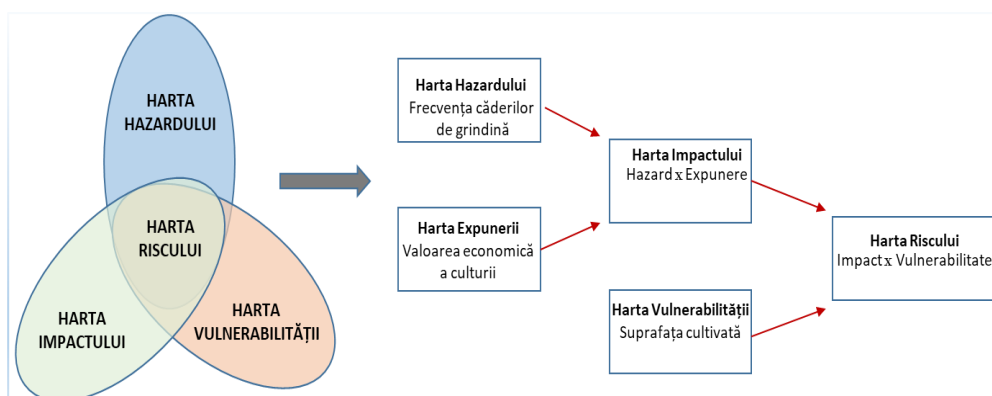


Fig. 22. Schema metodologică de realizare a hărților de risc

În studiul de față metodologia de calculare a riscului a fost aplicată la nivel de unitate teritorial administrativă (UAT). Pentru fiecare UAT s-a realizat o estimare a gradului de risc pentru majoritatea tipurilor de culturi agricole care se cultivă pe mari suprafețe în zona studiată. Aceste tipuri de culturi agricole sunt următoarele: grâu și secară, porumb, floarea soarelui, sfeclă de zahăr, cartof, legume, viță de vie și pomi fructiferi.

Alegerea tipurilor de culturi agricole pentru care s-a estimat gradul de risc s-a realizat în funcție de disponibilitatea datelor privitoare la suprafața cultivată și producția anuală. Datele privitoare la producția anuală pentru fiecare tip de cultură și la suprafața cultivată, cu excepția viței de vie și a livezilor, au fost descărcate din baza de date TEMPO a Institutului Național de Statistică (<http://statistici.INSSE.ro:8077/tempo-online/>). Din această bază de date au fost disponibile cantitățile producției grâu și secară, porumb, floarea soarelui, sfeclă de zahăr, cartof și legume, în tone, la nivel de UAT, din intervalul 1990-2003. S-a realizat o medie a producției în acest interval, iar valoarea economică a fost estimată prin utilizarea prețului de bază pe kg din anul 2020.

Vulnerabilitatea fost exprimată ca procentul ocupat cu un anumit tip de cultură din suprafața unei UAT. Suprafețele cultivate, cu excepția viței de vie și a livezilor, au fost obținute din baza de date TEMPO INSSE prin medierea datelor din intervalul 1990-2003 pentru fiecare UAT. Suprafețele ocupate cu viță de vie și livezi au fost obținute din CLC 2018.

Hărților de estimare a gradului de risc la căderile de grindină pentru fiecare tip de cultură analizat sunt rezultatul produsului dintre impact și vulnerabilitate obținute prin metodologia descrisă mai sus. Clasificarea nivelurilor de risc s-a realizat prin metoda quartilelor. Au fost definite patru clase de risc, de la *foarte scăzut* (valorile de sub quantila de 0,25), *scăzut* (între quantila de 0,25 și cea de 0,5), *mediu* (între quantila de 0,5 și cea de 0,75) până la *mare* (valori

mai mari decât cantitatea de 0,75). A mai fost adăugată și clasa “fără risc” pentru UAT în cazul cărora expunerea a avut valoarea zero.

### **5.2.2. Producția agricolă**

Prin utilizarea datelor disponibile în baza de date Tmpo-Online (<http://statistici.INSSE.ro>) a Institutului Național de Statistică a României s-a efectuat media producției în tone/UAT/an pentru principalele tipuri de culturi agricole din intervalul 1990-2003. Dacă modul de utilizare al terenului poate influența modul de manifestare a convecției atât la scară locală cât și regională, tipurile de culturi agricole (suprafețele cultivate cu anumite culturi și producția agricolă) sunt principalul factor care determină vulnerabilitatea unui areal față de căderile de grindină.

Principalele cereale cultivate în zona studiată sunt grâul, porumbul și secara. Cele mai mari cantități de grâu și secară (între 4000 și 10000 t/UAT/an) sunt produse în UAT din sudul jud. Vaslui, jud. Galați și sud-estul jud. Vrancea. Un alt areal cu producție mai mare a celor două cereale este reprezentat unele UAT de pe valea Bistriței și zona confluenței acesteia cu Siretul. Se remarcă cu producții cuprinse între 2000 și 5000 t/UAT/an majoritatea unităților administrative din Câmpia Moldovei.

Producția de legume este prezentă în toate UAT din zona studiată însă se remarcă zonele legumicole cu cantități de peste 3000 t/an/UAT. Cele mai mari producții de legume se înregistrează în zona legumicolă a județului Galați.

Producția de struguri la nivel de UAT indică în mod clar zonele viticole cu tradiție (Panciu-Odobești-Cotești; Cotnari; Iași și Huși) cu cantități mai mari de 1000 t/an/UAT. Cantități mari de struguri se înregistrează și în majoritatea UAT din județul Galați sau în unele din sudul județului Bacău.

În cazul producției de fructe UAT cu cantități foarte mari se concentrează mai cu seamă în jumătatea nordică a regiunii studiate.

### **5.2.3. Evaluarea gradului de risc pentru principalele tipuri de culturi**

Evaluarea gradului de risc pentru culturile de **grâu și secară** conform metodologiei descrise în subcapitolul anterior, indică două areale în care sensibilitatea este cea mai crescută. Primul este reprezentat de sud-vestul zonei studiate și comunele din Dealurile Fălciului și Lunca Prutului de la sud de Huși, în care nivelul de risc este în general mediu și mare. Al doilea areal se suprapune peste zona depresionară și deluroasă cuprinsă între valea Moldovei, la nord, valea Bistriței la sud și Culoarul Siretului la vest. Pentru cultura de **porumb**, UAT în care nivelul de risc este cel mai mare sunt cele din Culoarul Siretului, Depresiunea Tazlău-Cășin, Colinele Tutovei și Câmpia Tecuciului. Risc mediu sau mare se înregistrează și în majoritatea comunelor din Câmpia Moldovei.

Nivelul de risc pentru **floarea soarelui** este mare pentru majoritatea UAT din județul Galați, jumătatea sudică a județului Vaslui și cele din sudul județului Vrancea. În Câmpia Moldovei, nivelul de risc este în general scăzut. Jumătatea vestică a zonei studiate, cu unele excepții și arealele înalte din Podișul Central Moldovenesc și Podișul Bârladului sunt fără risc la furtunile cu grindină, deoarece nu au fost înregistrate suprafețe cultivate cu floarea soarelui.

Hărțile riscului pentru **sfecla de zahăr și cartof** respectă fidel tiparele impuse de arealele în care cultivarea lor este realizată în mod intensiv. Cele două tipuri de culturi necesită o cantitate mai mare de apă pentru a avea o producție bună. Acesta este motivul principal pentru care cultivarea lor se realizează îndeosebi în arealul nord-vestic, cel mai bogat în precipitații, al zonei studiate. În cazul sfeclei de zahăr cea mai mare parte a zonei studiate este încadrată în clasa de risc foarte scăzut. UAT cu nivel de risc mediu și mare sunt în Podișul Sucevei, Depresiunea Neamț, Depresiunea Cracău-Bistrița și Culoarul Siretului dintre Bacău și Pașcani.

Pentru cultura de **cartof** în majoritatea UAT din județele Suceava și Neamț nivelul de risc este foarte mare. Risc de nivel scăzut sau mediu este caracteristic UAT din județele Bacău și Botoșani și a celor din sudul și vestul județului Iași. Restul teritoriului, cu unele excepții este încadrat în clasa de risc foarte scăzut.

Harta riscului la grindină pentru **legume** indică foarte clar zonele legumicole ale Moldovei ca fiind cele mai expuse. Prima zonă, cu cele mai multe UAT încadrate în clasa de risc mare este Matca-Ghidigeni din județul Galați. Această zonă cu producție legumicolă foarte mare se prelungește la nord în localitățile de pe valea Bârladului până la confluența acestuia cu Vasluiul. În clasa de risc mare sunt încadrate și UAT din sudul și estul județului Vrancea. Alte areale cu risc mediu și mare sunt localizate în vestul și nord-vestul județului Iași (zona Târgu Frumos-Paşcani), Depresiunea Cracău-Bistrița și Culoarul Siretului dintre Roman și Bacău. Majoritatea UAT din județul Botoșani sunt încadrate în clasa de risc mediu având producții însemnate de legume.

În cazul **viței de vie**, nivelul de risc cel mai mare este caracteristic UAT din zona viticolă din Vrancea (Panciu-Tîfești-Odoboești-Cotești), Galați (Nicorești-Ivești și Dealul Bujorului), Vaslui (Podgoriile Huși și Dealul Fălciului) și Iași (zona Iași-Răducăneni și Podgoria Cotnari). În vecinătatea podgoriilor mari mai există UAT cu nivel de risc scăzut sau foarte scăzut. Arealul subcarpatic, nordul și partea central vestică a zonei studiate au valoarea expunerii 0 sau apropiate de 0 nefiind expuse riscului.

Pentru plantațiile de pomi fructiferi arealele cu risc mare și mediu sunt mai mari decât în cazul plantațiilor viticole și sunt dispersate pe întreaga suprafață a zonei studiate. Se remarcă UAT din Delul Mare-Hârlău și Podișul Fălticenilor pentru partea nordică și din cea mai mare parte a regiunii centrale (Culmea Corni-Runcu, Podișul Central Moldovenesc și Podișul Bârladului). În partea sudică, grad de risc mai crescut se menține în tot în UAT cu podgorii din Vrancea și Galați, pe teritoriul administrativ al municipiului Galați și a comunelor învecinate.

Prin însumarea valorii riscului pentru fiecare cultură a rezultat o hartă a riscului pentru arealele agricole ale zonei studiate (Fig. 23). Deși nu cuprinde informații referitoare la gradul

de expunere și vulnerabilitate a tuturor tipurilor de culturi, arată o spațializare a nivelului de risc pentru culturile agricole principale.

Ies în evidență unele zone pretabile pentru mai multe tipuri de culturi, precum jumătatea estică a Județului Vrancea și cea vestică a județului Galați, unde există suprafețe extinse cultivate cu viță de vie, livezi, legume precum și plante cultura mare de câmp. În județul Vaslui cele mai expuse UAT sunt cele din vecinătatea municipiului Bârlad, Dealurile Fălciului și zona viticolă Huși. UAT din județul Bacău sunt încadrate în cea mai mare parte în clasele de risc mediu și mare, situație specifică și celor din jumătatea sudică a județului Neamț. Codițiile pedo-geografice din aceste areale au de asemenea o bună pretabilitate pentru cultivarea majorității plantelor, aparținând celor opt tipuri de culturi analizate, iar nivelul de risc este influențat și de frecvența mai mare a căderilor de grindină (peste 2 zile/an în zonele subcarpatice). Pentru județul Suceava situația este asemănătoare, nivelul ridicat de risc fiind influențat atât de gradul mare de expunere a unor culturi precum sfecla de zahăr, cartoful sau grâul și numărul mediu anual de zile cu grindină mai crescut. UAT din Câmpia Moldovei sunt încadrate în clasele de risc scăzut și mediu. Se mai remarcă zonele viticole și pomicole din Jud Iași (Iași-Răducăneni, Sârca, Cotnari) în care nivelul de risc este mare.

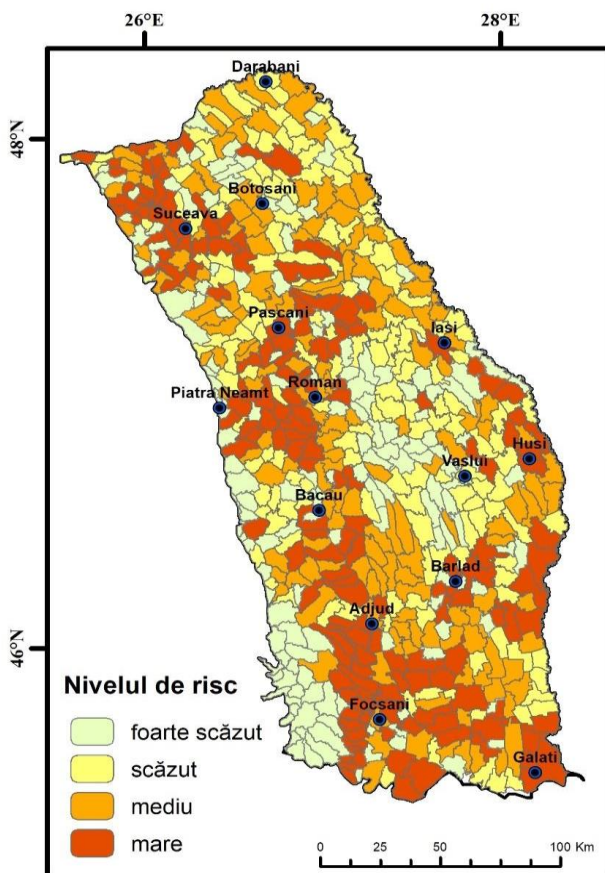


Fig. 23. Evaluarea riscului la căderile de grindină pentru principalele culturi agricole din regiunea studiată

Arealele cu cel mai scăzut nivel de risc sunt reprezentate de UAT din Subcarpații de Curbură și zonele mai înalte din Podișul Central Moldovenesc și Colinele Tutovei.

#### ***5.2.4. Utilizarea datelor radar și a celor satelitare pentru evaluarea pagubelor produse de grindină***

Identificarea zonelor agricole afectate de grindină se poate realiza prin teledetecție cu utilizarea imaginilor satelitare multispectrale și a celor provenite de la radarele meteorologice. Cele mai afectate areale de căderile de grindină s-au identificat printr-o metodologie care presupune utilizarea unui produs secundar al radarului meteorologic (energia cinetică a grindinei) și a Indicelui de Vegetație cu Diferență Normalizată (NDVI) obținut din imaginile multispectrale Sentinel-2. Pentru aplicarea metodologiei au fost alese două cazuri în care s-au manifestat furtuni convective însoțite de căderi de grindină de mari dimensiuni. Primul caz s-a înregistrat în 18-19 iunie 2016, când zona nordică a Moldovei a fost traversată de la est către vest de două supercelule, iar a doua este cea de 17 iulie 2016, când o furtună cu caracter supercelular a afectat culturi agricole din județele Suceava și Botoșani.

Utilizarea imaginilor Sentinel-2 pentru identificarea arealelor afectate de căderile de grindină a plecat de la ipoteza simplă conform căreia valoarea NDVI la câteva zile de la producerea evenimentului este mult mai redusă decât valoarea NDVI de dinaintea producerii acestuia. Utilizat pe scară largă NDVI este un indice simplu, dar eficient pentru cuantificarea vegetației verzi. Acesta normalizează împrăștierea lungimilor de undă din infraroșu apropiat al frunzelor verzi cu absorbția clorofilei în lungimile de undă roșii.

#### ***Determinarea zonelor afectate prin utilizarea datelor radar și Sentinel-2***

Calcularea NDVI de dinaintea evenimentului și post-eveniment, pentru zonele afectate s-a realizat în funcție de disponibilitatea imaginilor satelitare fără prezența norilor. Cea mai mare limitare a acestei metodologii o reprezintă existența formațiunilor noroase deasupra zonei de interes, care împiedică obținerea unei imagini satelitare utilizabile. Datorită acestei limitări, pentru analiza valorilor NDVI din zonele afectate de căderile de grindină din 18 iunie, prima imagine fără formațiuni noroase a fost găsită la un interval de aproape 3 săptămâni de la producerea fenomenului. Prin compararea valorilor NDVI din cele două imagini, nu se poate evidenția clar o zonă care să corespundă cu traseul grindinei reconstituit cu ajutorul datelor radar.

Harta energiei cinetice pentru furtuna care a afectat nord-vestul județului Suceava în data de 17.07.2016 indică un areal cu valori de peste 500 J/m<sup>2</sup> între localitățile Solca și Siret (Fig. 24).

Pentru analiza NDVI în urma fenomenului din 17 iulie, imaginea din 23 iulie indică un areal cu valori mult mai scăzute ale acestuia care se suprapun cu valorile maxime ale energiei cinetice. Traseul grindinei este clar evidențiat de valorile ale NDVI cuprinse între 0,4 și 0,5 la



5 zile după producerea fenomenului pentru parcele cultivate în cazul cărora aceste valori erau cuprinse între 0,7 și 0,9.

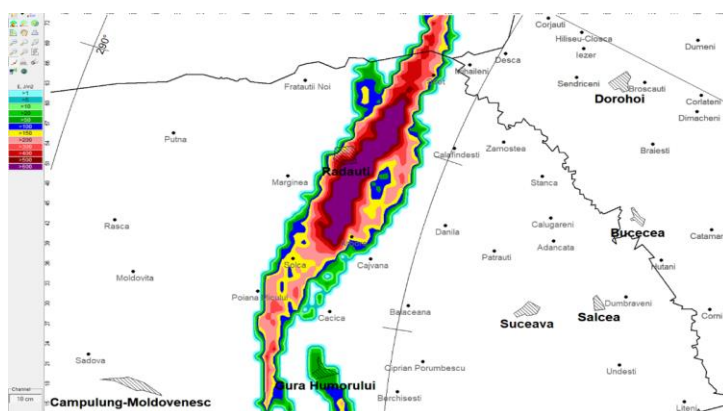


Fig. 24. Energia cinetică totală a grindinei din data de 17.07.2019 (intervalul 15:00 – 17:00 timp local) calculată din datele provenite de la radarul meteorologic MRL5 din Cornești, Rep. Moldova (SC Intervenții Active în Atmosferă SA)

După calcularea indicelui de vegetație corespunzător celor 2 zile s-a realizat o diferență între cele două rastere și în acest fel s-a evidențiat zona afectată de grindină. Acolo unde valoarea diferenței este mai mare, înseamnă că era mai intensă activitatea clorofiliană în ziua de dinaintea producerii fenomenului decât în cea de după producere. Acest lucru se datorează recoltării anumitor culturi sau poate fi din cauză de căderile de grindină. În cadrul evenimentului din iulie se observă traiectoria norului și efectele produse sub forma unei benzi cu direcție S-SV- N-NE. Forma zonei afectate nu ține cont de structurile antropice sau natural, ceea ce susține originea sa meteorologică (Fig. 25).

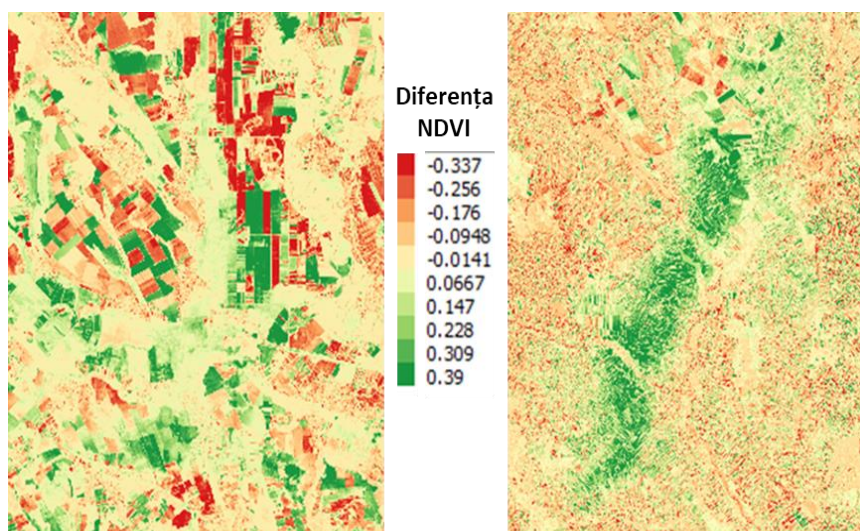


Fig. 25. Diferența dintre NDVI de dinaintea evenimentului și cel post eveniment (în stânga pentru 18 iunie iar în dreapta pentru 17 iulie) (Ursu et al., 2021 manuscris)

## CONCLUZII

Cercetarea de față prin cele două direcții principale și anume prognoza grindinei și stabilirea celor mai vulnerabile arii agricole la riscul provocat de acest fenomen pe teritoriul Moldovei extracarpatice are un caracter puternic interdisciplinar.

Mediul convectiv și cel preconectiv al furtunilor cu grindină a fost studiat cu ajutorul a 23 de indici de instabilitate proveniți din două surse de date. Au fost utilizate date de la stațiile de aerosondaj din vecinătatea zonei studiate și anume București-Băneasa, Cluj-Napoca, Cernăuți și Odesa precum și date de reanaliză din ERA5. Valorile parametrilor convectivi pentru 378 de zile cu grindină au fost analizate la ora 00:00 UTC și 12:00 UTC. Valorile indicilor de la ora 12:00 UTC sunt mult mai ridicate, unii dintre aceștia caracterizând foarte bine mediul convectiv, dacă le comparăm cu valorile prag din literatura de specialitate. Pentru CAPE unul dintre cei mai utilizați indici, valorile medii de la ora 12:00 UTC au fost de 433J/Kg în cazul datelor provenite din ERA5, respectiv 505J/kg în cazul datelor provenite din sondajele atmosferice. Valorile medii de ora 00:00 UTC ale acestui indice sunt mult mai reduse, situându-se sub 200 J/kg. Nivelul de condensare prin ridicare (NCR) de la ora 12:00 UTC a efectuării aerosondajului, care poate fi asociat cu baza norilor, s-a situat la altitudini mai mari de 900 metri pentru 90% dintre zilele cu grindină analizate. În lunile de vară dar și în septembrie NCR depășește 1200 m pentru 75% dintre cazuri ajungând până la valori de 2500 m. Valorile Lifted Index (LI) și Showalter Index (SI) fiind calculați în mod asemănător au aceeași distribuție statistică la nivel lunar. Cele mai crescute valori se înregistrează în luna aprilie iar cele mai scăzute în lunile iunie și iulie. Valoarea mediană a parametrilor umidității calculată pentru toate zilele cu grindină analizate scade de la 75% în cazul  $UR_{850}$  până la 50 % în cazul  $UR_{500}$ . Creșterea  $RA_{500}$  este corelată cu creșterea temperaturii aerului din primii 500 m ai atmosferei care permite o încărcare mai mare cu vapori de apă. Valorile înregistrate în iulie pentru  $RA_{500}$  sunt foarte apropiate cu cele care caracterizează furtunile convective care provoacă căderi de grindină de mari dimensiuni în Europa. Spațializarea valorilor indicelui cinematic  $V_{0-500}$  indică existența unei zonări sub forma unor fâșii orientate sud-vest–nord-est în toate lunile din perioada convectivă analizată cu excepția lunii mai.

Din matricea de corelație pentru indicii derivați din datele de aerosondaj de la ora 00:00 UTC se disting corelații foarte puternice între indici din aceeași categorie sau categorii diferite. Cele mai evidente sunt corelațiile mari între indicii calculați pe baza teoriei particulei și cele între aceștia și indicii umidității, respectiv indicii compuși. De asemenea apar corelații cu valori ale coeficienților apropiate de 0,5 între cantitatea de umiditate din primii 500 de metri ( $UR_{500}$ ) și indicii compuși. Matricea de corelație dintre valorile indicilor calculați din datele de la ora 12:00 UTC de aerosondaj indică același tipar al valorilor coeficientului și  $r_s$ . Diferența majoră constă în valorile mai mari ale coeficienților de corelație față de datele de la ora 00:00 UTC. Indicii teoriei particulei se corelează foarte bine și cu cantitatea de umiditate din troposfera joasă, exprimată prin raportul de amestec în primii 500 de metri ( $RA_{500}$ ) și Umereala relativă la 850 hPa ( $UR_{850}$ ). O troposferă joasă cu cantitate de umiditate mai mare determină un gradient al temperaturii mai mic și crește înălțimea bazei norilor aproximată prin

indicele NCR. Coeficienți de corelație cu valori mari se regăsesc între  $H_0$  și indici ai umezelii precum  $RA_{500}$ ,  $UR_{850}$  și AP. Corelații pozitive sunt între  $H_0 - RA_{500}$  și  $H_0 - AP$ , ce pot fi determinate de frecvența mai mare a căderilor de grindină din lunile de vară când troposfera joasă este mai caldă și mai bogată în umiditate.

Valorile indicelui CAPE realizează o bună distingere între clasele de mărimi ale diametrelor pentru cele două ore de observație. S-a mai observat că o creștere a valorii  $H_0$  în condiții de instabilitate foarte mare duce mai degrabă către creșterea probabilității de a cădea la sol grindină de mari și foarte mari dimensiuni. Valoarea  $V_{0-500hPa}$  crește odată cu creșterea severității grindinei. Creșterea este mai pronunțată între categoria grindină mare (2-4 cm) și grindină foarte mare (>4 cm) decât între categoria grindină mică și cea mare. Situația poate fi o consecință a faptului că grindina foarte mare este legată aproape exclusiv de dezvoltările convective supercelulare în timp ce grindina mai mică poate apare și în furtuni mai slab organizate.

Corelarea tipurilor de circulație din cadrul metodelor obiective de clasificare WLK și GWT cu căderile de grindină a dus la stabilirea a 10 tipare sinoptice majore în care probabilitatea apariției furtunilor cu grindină este crescută. Tiparele caracterizate de un nucleu de joasă presiune aflat la altitudine și circulație nord-vestică sau nord-estică la sol dețin cea mai mare frecvență dintre zilele cu căderi de grindină (28%). Pentru cele două tipare, valorile cele mai crescute ale CAPE se regăsesc în zona centrală a Moldovei. Acestea sunt urmate ca frecvență de tiparele în care fluxul principal la nivelul de 700 hPa este din direcție vestică iar circulația generală la nivelul solului este nord-vestică (14%). Tiparele caracterizate de flux nord-estic în troposfera medie și același tip de circulație la sol în ambele condiții, ciclonale și anticiclonale au determinat condițiile de instabilitate din aproximativ 13% dintre zilele cu grindină.

Harta repartiției numărului mediu anual de zile cu grindină pentru zona studiată indică descreșterea valorilor are loc e la 3 zile/an pe culmile cele mai înalte ale Subcarpaților Moldovei și cei ai Curburii la sub 0,6 zile/an în sudul Câmpiei Jijiei, Valea Bârladului și cea mai mare parte a văii Prutului.

Un alt demers al studiului nostru a fost acela de a estima impactul pe care îl au căderile de grindină asupra zonelor agricole. În acest sens s-au realizat hărți ale riscului la grindină pentru principalele tipuri de culturi (grâu și secară, porumb, cartof, sfeclă de zahăr, floarea soarelui, legume, plantații pomicole și plantații viticole) utilizând o metodologie recunoscută pe plan internațional dar adaptată specificului hazardului și al zonei studiate. Această metodologie constă în determinarea hărții riscurilor, ca fiind produsul dintre harta hazardului, harta expunerii și harta vulnerabilității. Ies în evidență unele zone pretabile pentru mai multe tipuri de culturi, precum jumătatea estică a Județului Vrancea și cea vestică a județului Galați, unde există suprafețe extinse cultivate cu viță de vie, livezi, legume precum și plante cultura mare de câmp. În județul Vaslui cele mai expuse UAT sunt cele din vecinătatea municipiului Bârlad, Dealurile Fălciului și zona viticolă Huși. UAT din județul Bacău sunt încadrate în cea mai mare parte în clasele de risc mediu și mare, situație specifică și celor din jumătatea sudică a județului Neamț. Condițiile pedo-geografice din aceste areale au de asemenea o bună

pretabilitate pentru cultivarea majorității plantelor, aparținând celor opt tipuri de culturi analizate, iar nivelul de risc este influențat și de frecvența mai mare a căderilor de grindină (peste 2 zile/an în zonele subcarpatice). Pentru județul Suceava situația este asemănătoare, nivelul ridicat de risc fiind influențat atât de gradul mare de expunere a unor culturi precum sfecla de zahăr, cartoful sau grâul și numărul mediu anual de zile cu grindină mai crescut. UAT din Câmpia Moldovei sunt încadrate în clasele de risc scăzut și mediu. Se mai remarcă zonele viticole și pomicole din Jud Iași (Iași-Răducăneni, Sârca, Cotnari) în care nivelul de risc este mare. Arealele cu cel mai scăzut nivel de risc sunt reprezentate de UAT din Subcarpații de Curbură și zonele mai înalte din Podișul Central Moldovenesc și Colinele Tutovei.

Identificarea zonelor agricole afectate de grindină se poate realiza prin teledetecție cu utilizarea imaginilor satelitare multispectrale și a celor provenite de la radarele meteorologice. Cele mai afectate areale de căderile de grindină s-au identificat printr-o metodologie care presupune utilizarea unui produs secundar al radarului meteorologic (energia cinetică a grindinei) și a Indicelui de Vegetație cu Diferență Normalizată (NDVI) obținut din imaginile multispectrale Sentinel-2. Prin efectuarea unei diferențe între valoarea NDVI de dinaintea producerii fenomenului și celei de după producerea pot fi identificate arealele agricole care au fost supuse acțiunii mecanice dăunătoare a greloanelor de grindină.

În cele din urmă, observăm că este necesară o sinergie mai mare, care să lege progresele realizate de comunitatea științifică din cercetare și unitățile operaționale de combatere a grindinei de industria asigurărilor. Grindina poate avea un impact remarcabil atât în ceea ce privește pierderile economice și totuși cercetările realizate nu au fost întotdeauna îndreptate spre a da un răspuns la întrebările fundamentale necesare luării unor măsuri concrete de către factorii decizionali. Înțelegerea modului în care acest risc natural se manifestă în prezent sau a potențialului său viitor de evoluție în ceea ce privește impactul asupra societății este, de asemenea, o direcție necesară. Pe lângă furnizarea acestor informații, există, de asemenea, loc pentru îmbunătățirea metodelor de atenuare a impactului grindinei. Prin utilizarea progreselor realizate în prognozarea grindinei în cadrul Sistemului Național de Combatere a Grindinei și a celui de alertă rapidă a populației se pot reduce semnificativ pierderile economice sau chiar se pot evita pierderi de vieți omenești. Chiar și o îmbunătățire foarte mică, atunci când este aplicată pentru zone agricole foarte vulnerabile sau pentru aglomerări urbane ar putea diminua substanțial pierderile potențiale.

## BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Abshaev M.T., (1982a), *Identificarea grindinei prin radiolocație*, Știrile Academiei de Științe din URSS, Fizica atmosferei și a oceanului, Vol. 18, nr. 5. pp. 483 - 494.
2. Abshaev M.T., (1984), *Structura și dinamica proceselor de grindină în Caucazul de Nord*, Edit Institutului Geofizic din Nalıcic, ediția 53, pp. 6-22 (în Rusă).
3. Abshaev M.T., Goral, G.G. și Malbakhova N.M., 1965. *Proгноза tipului de grindină*. Edit Institutului Geofizic din Nalıcic ediția 67, pp. 72-79 (în Rusă).
4. Abshaev, M.T., Abshaev, A.M., Malkarova, A.M. et al., (2010), *Automated radar identification, measurement of parameters, and classification of convective cells for hail protection and storm warning*, Russ. Meteorol. Hydrol. 35, pp. 182–189 <https://doi.org/10.3103/S1068373910030040>.
5. Adams-Selin, R. D., Ziegler, C. L. (2016), *Forecasting Hail Using a One-Dimensional Hail Growth Model within WRF*, Monthly Weather Review, 144 (12), pp. 4919-4939, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0027.1>.
6. Allen, J.T., Tippett M.K., and Sobel A.H., (2015), *An empirical model relating U.S. monthly hail occurrence to large-scale meteorological environment*, J. Adv. Model. Earth Syst., 7, pp. 226–243, <https://doi.org/10.1002/2014MS000397>.
7. Amburn S.A., & Wolf, P.L. (1997), *VIL Density as a Hail Indicator*, Weather and Forecasting, 12 (3), pp. 473-478, [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1997\)012<0473:VDAAHI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1997)012<0473:VDAAHI>2.0.CO;2).
8. Apostol L., (2008), *The mediterranean cyclones – the role in ensuring water resources and their potential of climatic risk, in the east of Romania*, Present Environment and Sustainable Development, nr. 2, pp. 143-163.
9. Apostol L., Machidon O., (2009), *Considerații asupra fenomenului de grindină în bazinul hidrografic Bârlad*, Anal. șt. Univ. "Ștefan cel Mare" Suceava, secț. Geografie, 18, pp. 61-72.
10. Apostol, L., Machidon O.M., (2011), *Considerations on the hail regime in Moldavia between the Siret and Prut rivers*, Air and Water - Components of the Environment Conferee, 3, pp. 45-52.
11. Bălescu, O.I., Militaru Florica (1967), *Studiul aerologic al căderilor de grindină*, Culegere de lucrări ale I.M. pe 1965, București.
12. Beck C., (2000), Variabilitatea dinamicii circulației atmosferice în regiunea Europeană a Atlanticului de Nord (. Zirkulationsdynamische Variabilität im Bereich Nordatlantik-Europa seit). Würzburger Geographische Arbeiten 95 (in Germană).
13. Bedka, K. M., Dworak, R., Brunner, J., Feltz, W., (2012), *Validation of satellite-based objective overshooting cloud-top detection methods using CloudSat cloud profiling radar observations*. Journal of Applied Meteorology and Climatology 51 (10), pp. 1811-1822, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0131.1>.
14. Bogdan Octavia, (1995), *Un caz excepțional de grindină la Constanța (1 iulie 1992)*, SC Geogr., XLII, pp. 81-89.
15. Bogdan Octavia, (2005), *Caracteristici ale hazardurilor / riscurilor climatice de pe teritoriul României*, Mediul Ambiant 5 (23), pp. 26-36.
16. Bogdan Octavia, Niculescu Elena, (1999), *Riscurile climatice din România*, Academia Română, Inst. de Geogr., București, 255 p., ISBN 973-0-00800-0.
17. Bojariu Roxana, Bîrsan M.V., Cică R., Velea L., Burcea S., Dumitrescu A., Dascălu S.I., Gothard M., Dobrinescu A., Cărbunaru F., Marin L., (2015), *Schimbările climatice – de la bazele fizice la riscuri și adaptare*. Editura Printech, București, 204 p., ISBN 978-606-23-0363-1.

18. Bojariu Roxana, Papathoma-Köhle M., Wendlová V., Cica Roxana Diana, (2014), *Changing risks in changing climate—SEERISK*. Raport.
19. Brimelow J.C., Reuter G.W., and Poolman E.R., (2002), *Modeling maximum hail size in Alberta thunderstorms*, *Wea. Forecast.*, 17(5), pp. 1048–1062, [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(2002\)017<1048:MMHSIA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(2002)017<1048:MMHSIA>2.0.CO;2).
20. Brimelow, J.C., Reuter G.W., Goodson R., and Krauss T.W., (2006), *Spatial forecasts of maximum hail size using prognostic model soundings and HAILCAST*, *Wea. Forecast.*, 21(2), pp. 206–219, <https://doi.org/10.1175/WAF915.1>.
21. Burcea S., Cică Roxana, Bojariu Roxana, (2019), *Radar-derived convective storms' climatology for the Prut River basin: 2003–2017*, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19, pp. 1305–1318, <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1305-2019>.
22. Burcea S., R. Cică, Bojariu Roxana, (2016), *Hail Climatology and Trends in Romania: 1961–2014*, *Mon. Wea. Rev.*, 144, pp. 4289–4299, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0126.1>.
23. Cecil D.J., Blankenship C.B., (2012), *Toward a global climatology of severe hailstorms as estimated by satellite passive microwave imagers*. *Journal of Climate* 25 (2), pp. 687–703, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00130.1>.
24. Changnon S.A., (2009), *Increasing major hail losses in the U.S.* *Climatic Change* 96, pp. 161–166, <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9597-z>.
25. Changnon, S. A., (1999), *Data and Approaches for Determining Hail Risk in the Contiguous United States*, *Journal of Applied Meteorology*, 38(12), pp. 1730–1739, [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<1730:DAAFDH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<1730:DAAFDH>2.0.CO;2)
26. Cică Roxana, Burcea S. and Bojariu Roxana, (2015), *Assessment of severe hailstorms and hail risk using weather radar data*, *Met. Apps*, 22, pp. 746–753. <https://doi.org/10.1002/met.1512>.
27. Crețu Ș.C., Sfică L., Ichim P., (2020), *Summer urban heat island of Galați city (Romania) detected using satellite products*, *Present Env. and Sust. Dev.*, 14, 2, pp. 5–27, DOI: 10.15551/psd2020142001
28. Dilley M., Chen R.S., Deichmann U., Lerner-Lam A.L., Arnold M., Agwe J., Buys, P., Kjekstad O., Lyon B., Yetman G., (2005), *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*, *Disaster Risk Management Series No. 5*; The World Bank: Washington, DC, USA, 2005.
29. Dittmann E., Barth S., Lang J., Müller-Westermeier G., (1995), *Clasificarea obiectivă a tipurilor de vreme (Objektive Wetterlagenklassifikation)*, *Ber. Dt. Wetterd.* 197, Offenbach a. M., Germany.
30. Doswell C. A. III, Rasmussen E.N., 1994, *The Effect of Neglecting the Virtual Temperature Correction on CAPE Calculations*, *Weather and Forecasting*, 9 (4), pp. 625–9, doi:10.1175/1520-0434(1994)009<0625:TEONTV>2.0.CO;2.
31. Erhan Elena., (1986), *Fenomenul de grindină în Podișul Moldovei*, *Analele Științifice ale Universității Al. I. Cuza, Iași, serie nouă, secț. II, b, Geografie-Geologie, tomul XXXII*
32. Fawbush E.J., Miller R.C., (1953), *A method for forecasting hailstone size at the earth's surface*, *Bulletin of the American Meteorological Society* 34, pp. 235–244, <https://www.jstor.org/stable/26242128>
33. Fedchenko G.L.M, Goral G.G., aMalbakhova N.M., (1992), *Detailed methods of hail forecast*, *Atmospheric Research*, 28, pp. 375–384, [https://doi.org/10.1016/0169-8095\(92\)90018-6](https://doi.org/10.1016/0169-8095(92)90018-6).
34. Foote G.B., and Knight C., (1977), *Hail: a review of hail science and hail suppression*, vol. 16, Edit. American Meteorological Society.

35. Foote G.B., Krauss T.W., and Makitov V., (2005), *Hail metrics using convectional radar*, in: In Proceedings of 16th Conference on Planned and Inadvertent Weather Modification, 10–13 January 2005, San Diego, CA, USA, Amer. Meteor. Soc., Boston, MA.
36. Foster D.S., and Bates F. C., (1956), A hail size forecasting technique, Bull. Am. Meteor. Soc., pp. 135–141. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-37.4.135>.
37. Frisby E.M., (1962), *Relationship of Ground Hail Damage Patterns to Features of the Synoptic Map in the Upper Great Plains of the United States*, J. Appl. Meteor., 1, pp. 348–352, [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1962\)001<0348:ROGHDP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1962)001<0348:ROGHDP>2.0.CO;2).
38. Gall M., Borden K.A., Emrich C.T., Cutter S.L., (2011), *The Unsustainable Trend of Natural Hazard Losses in the United States*. Sustainability 3 (11), pp. 2157–2181, <https://doi.org/10.3390/su3112157>.
39. Garaba L., Sfică L., (2015), *Climatic features of the Romanian territory generated by the action of Mediterranean cyclones*, Lucrările Seminarului Geografic Dimitrie Cantemir, 39, pp. 11–24. DOI: 10.15551/lsgdc.v39i0.02.
40. Glushkova N.I. și Minakova, N.E., (1967), *Prognoza grindinei*, Supliment la procedurile privind prognozele vremii pe termen scurt. Partea II Moscova, Hidrometeoizdat, 10 pp. (în Rusă).
41. Goral G.G. și Barekova M.V., (1986), *Instabilitate atmosferică potențială și prognoza formării grindinei în Armenia*, Tipografia Institutul Geofizic din Nalicic , ediția 63, pp. 48–57 (în Rusă).
42. Goral G.G. și Malbakhova N.M., (1985), *Evaluarea potențialului instabilități în timpul dezvoltării proceselor de grindină*, Revista de Meteorologie și Hidrologie Nr. 3, pp. 36–45 (în Rusă).
43. Goral G.G., (1984), *Starea termodinamică a aerului de suprafață și localizarea proceselor de grindină*, Tipografia Institutul Geofizic din Nalicic , ediția 61, pp. 37–43 (în Rusă).
44. Grama M., (1969), *Experimentarea unor metode privind prevederea norilor Cumulonimbus și a orajelor pe aeroportul București-Băneasa*, Culegerea de lucrări a Institutului Meteorologic, pp. 153–160.
45. Groenemeijer P., Dotzek N., Stel F., Brooks H., Doswel C., Elsom D., Giaiotti D., Gilbert A., Holzer A., Meaden T., Salek, M., Teittinen J., Behrendt J., (2004), *ESWD—A standardized, flexible data format for severe weather reports*, 3rd European Conf. on Severe Storms, León, 9.–12. November. [www.essl.org/projects/ESWD](http://www.essl.org/projects/ESWD).
46. Groenemeijer, P. H., and van Delden A., (2007), *Sounding-derived parameters associated with large hail and tornadoes in the Netherlands*, Atmos. Res., 83, pp. 473–487, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.08.006>.
47. Gugiuman I., Chiriac V., (1956), *Furtuna cu grindină de la 4 august 1950 din regiunea Iași*, Analele Stiințifice ale Univ. Al. I. Cuza, secțiunea I, II, 1–2.
48. Hall W.D., (1980), *A Detailed Microphysical Model Within a Two-Dimensional Dynamic Framework: Model Description and Preliminary Results*, Journal of Atmospheric Sciences, 37(11), pp. 2486–2507.
49. Hauer E., Nichita C., (2011), *The Mesoscale Convective System from 24.07.2010*, Riscuri și Catastrofe, NR. X, VOL. 9.
50. Hersbach H., Bell B., Berrisford P., et al., (2020), *The ERA5 global reanalysis*. Q J R Meteorol Soc., 146, pp. 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
51. <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> Datele de la stațiile aerologice: Universitatea Wyoming , Departamentul de Științe ale atmosferei, disponibile la adresa
52. <http://www.rstudio.com/> RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL.

53. Huth R., (2000), *A circulation classification scheme applicable in GCM studies*, Theor. Appl. Climatol. 67, pp. 1–18, <https://doi.org/10.1007/s007040070012>.
54. Huth R., Beck C., Philipp A., Demuzere M., Ustrnul Z., Cahynová M., Kysely J., Tveito O.E., (2008), *Classifications of atmospheric circulation patterns: recent advances and applications*. Ann N Y Acad Sci., 1146, pp. 105-52, doi: 10.1196/annals.1446.019.
55. Ilie N., Apostol L., Axinte A.D., (2020), *The way to determine the approximately hail's dimensions*, Present Environment and Sustainable Development, 14(1), pp. 209 – 219, DOI:10.15551/pesd2020141002
56. Ilie N., Apostol L., Axinte A.-D., Beteringhe A. (2021) *Application of the 'Hess-Brezowsky' Classification to the Identification of Extreme Precipitations in Northern Part of Moldova.*, 2021, Air and Water – Components of the Environment” Conference Proceedings, Cluj-Napoca, Romania, p. 21-32, DOI: 10.24193/AWC2021\_03.
57. Iliescu M.C., Popa C., (1983), *Particularități ale distribuției grindinei pe teritoriul R. S. România*, Studii și cercetări, Meteorologie, I.N.M.H., București, pp. 231-245.
58. Inyukhin V.S., Makitov V.S, (1987), *Studiu experimental și teoretic a metodelor de măsurare a energiei cinetice a grindinei cu ajutorul radarului*, Lucrările Institutului Geofizică al Academiei de Științe a Federației Ruse nr. 69, pp. 62–69 (in Rusă).
59. Ionescu-Nișcov Șt., (1978), *Studiul prognozei fenomenelor orajoase din interiorul masei aplicând unele din metodele statisticii matematice*, Studii și cercetări. Partea I. Meteorologie, pag. 283-294.
60. Istrate V., Apostol L., Bărcăcianu F., Iordache I., Sfică L., (2016a), *Precursor weather conditions for hail-event forecasting in the Moldavia*, Air and Water components of the environment, Cluj-Napoca, Conference Proceedings 8, pp. 203-209, DOI: 10.17378/AWC2016\_26.
61. Istrate V., Apostol L., Sfică L., Iordache I., Bărcăcianu F., (2015) *The status of atmospheric instability indices associated with hail events throughout Moldova*, Air and Water - Components of the Environment, Conference Proceedings, 7, pp. 323–331, DOI: 10.17378/AWC2015\_43.
62. Istrate V., Dobri R.V., Bărcăcianu F., Ciobanu R.A. and Apostol. L., (2021), *Sounding-derived parameters associated with severe hail events in Romania*, Időjárás, 125(1), pp. 39-52, <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.1.2>.
63. Istrate V., Ursu A., Dobri R.V., Axinte A.D., Stoica D., (2019b), *Hail suppression system in Romania and its relation with land cover*, SGEM 2019 Conference Proceedings, 19, pp. 871-878, doi: 10.5593/sgem2019/2.2/S11.107.
64. James P.M., (2006), *An assessment of European synoptic variability in Hadley Centre Global Environmental models based on an objective classification of weather regimes*, Clim. Dyn., 27, pp. 215–231, <https://doi.org/10.1007/s00382-006-0133-9>.
65. Jewell R., and Brimelow J., (2009), *Evaluation of Alberta hail growth model using severe hail proximity soundings from the United States*, Wea. Forecasting, 24(6), pp. 1592–1609.
66. Kunz M. and Geissbuehler, P., (2017), *Severe convective storm*, in: *Natural Catastrophe Risk Management and Modelling: A Practitioner's Guide*, edited by: Mitchell-Wallace, K., Jones, M., Hillier, J., and Foote, M., John, Edit. Wiley & Sons Ltd., Chichester.
67. Kunz M., (2007), *The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms*, Nat. Hazards Earth Sys. Sci., 7, pp. 327–342, <https://doi.org/10.5194/nhess-7-327-2007>.



68. Kunz M., Puskeiler M., (2010), *High-resolution Assessment of the Hail Hazard over Complex Terrain from Radar and Insurance Data*, Meteorol. Z. 19, pp. 427–439, DOI: 10.1127/0941-2948/2010/0452.
69. Kunz M., Wandel J., Fluck E., Baumstark S., Mohr S., and Schemm S., (2020), *Ambient conditions prevailing during hail events in central Europe*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 20, pp. 1867–1887, <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1867-2020>.
70. Leigh R., Kuhnel I., (2001), *Hailstorm Loss Modelling and Risk Assessment in the Sydney Region, Australia*, Nat. Hazards, 24, pp. 171–185.
71. Lemons H., (1942a), *Hail in High and Low Latitudes*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 23, pp. 61–72, <https://doi.org/10.1175/1520-0477-23.2.61>.
72. Lemons H., (1942c), *Hail in American Agriculture*, Econ. Geogr., 18, pp. 363–378.
73. Lkhamjav J., Jin H.-G., Lee H., Baik J.-J., (2017), *A hail climatology in Mongolia*, Asia-Pacific J. Atmos. Sci., 53(4), pp. 501–509, <https://doi.org/10.1007/s13143-017-0052-1>.
74. Ludlam F.H., (1980), *Clouds and Storms. The Behavior and Effect of Water in the Atmosphere*, The Pennsylvania State University Press, University Park and London (405 pp.).
75. Machidon O. M., Apostol L., (2011), *The hail phenomenon in the Bârlad Drainage Basin -some aspects regarding genesis and diurnal frequency*, Present Environment and Sustainable Development, 5, pp. 209 – 219.
76. Machidon O., (2006), *The necessity and opportunity of the protection from hailstorms in the departments of Vrancea and Galati*, Seminarul Geografic “Dimitrie Cantemir”, Univ. Al. I. Cuza, Iași, nr 7, pp 117-129, ISSN: 1222-989X.
77. Maier N., Lacatus D., and Rus T., (2010), *Hail in the area covered distribution of WSR-98D radar from Bobohalma*. Air and Water - Components of the Environment, 2, pp. 404-411.
78. Maier N., și Haidu I., (2005), *Caracteristici ale instabilității termice a atmosferei în aria municipiului Cluj-Napoca*, Romanian Journal of Climatology, 1, pp. 317-327.
79. Maier Narcis, *Studiul instabilității atmosferice și a ecourilor radar în scopul realizării prognozei de tip now casting a precipitațiilor din Munții Apuseni*, Teză de doctorat, Cluj-Napoca 2011.
80. Manzato A. (2005), *The use of sounding-derived indices for a neural network short-term thunderstorm forecast*, Wea. Forecasting, 20(6), pp. 896–917, <https://doi.org/10.1175/WAF898.1>.
81. Manzato A., (2012), *Hail in Northeast Italy: climatology and bivariate analysis with the sounding-derived indices*, J. Appl. Meteorol. Climatol. 51, pp. 449–467.
82. Mason B.J., (1971), *The Physics of Clouds*, Clarendon Press, Oxford 671.
83. Melick C.J., Jirak I., Correia Jr, J., Dean A., Weiss S.J., (2014), *Exploration of the NSSL Maximum Expected Size of Hail (MESH) Product for Verifying Experimental Hail Forecasts in the 2014 Spring Forecasting Experiment*, 27th Conf. on Severe Local Storms. Madison, WI: Amer. Meteor. Soc., 76.
84. Merino A., Wu X., Gascón E., Berthet C., García-Ortega E., and Dessens J., (2014), *Hailstorms in southwestern France: incidence and atmospheric characterization*, Atmos. Res., 140, pp. 61–75, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.01.015>.
85. Mohr S., Kunz M., (2013), *Recent trends and variabilities of convective parameters relevant for hail events in Germany and Europe*, Atmos. Res., 123, 211–228. DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.05.016.
86. Moncrieff M.W. and Miller M.J., (1976), *The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines*, Q.J.R. Meteorol. Soc., 102, pp. 373-394, <https://doi.org/10.1002/qj.49710243208>.

87. Moore J.T., and Pino J.P., (1990), *An interactive method for estimating maximum hailstone size from forecast soundings*, Wea. Forecasting, 5(3), pp. 508–525, [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1990\)005<0508:AIMFEM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1990)005<0508:AIMFEM>2.0.CO;2).
88. Oşlobeanu M., Oprean M., Alexandrescu I., Georgescu M., Baniță P., Jianu L., (1980), *Viticultură generală și specială*, Editura Didactică și Pedagogică, București.
89. Philipp A., Beck C., Huth R. and Jacobeit J., (2016), *Development and comparison of circulation type classifications using the COST 733 dataset and software*, International Journal of Climatology, 36(7), pp. 2673–2691.
90. Poolman E.R., (1992), *Die voorspelling van haelkorrelgroei in Suid-Afrika (Proгноза creșterii grindinei în Africa de Sud)*, Teza de master, Facultatea de Inginerie, Universitatea din Pretoria, 113 pp.
91. Posea Grigore, (2006), *Geografia fizică a României*. Ediția a II-a, vol I, Editura Fundației România de Măine, București, ISBN 973-725-712-X, 264 p.
92. Potapov E., Burundukov G., Garaba I., Petrov V., (2007), *Hail modification in the Republic of Moldova*, Russian Meteorology and Hydrology 32 (6), pp. 360–365.
93. Potapov E.I., Garaba I.A., (2016), *Technological Features of Hail Suppression Activities in the Republic of Moldova*, Russian Meteorology and Hydrology, 41, 4, pp. 268–275, DOI: 10.3103/S1068373916040063.
94. Pruppacher H.R., Klett J.D., (2010), *Microphysics of Clouds and Precipitation, Second revised and expanded edition*, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, DOI 10.1007/978-0-306-48100-0.
95. Púčik T., Groenemeijer P., Rýv, D., Kolář M., (2015), *Proximity Soundings of Severe and Nonsevere Thunderstorms in Central Europe*, Monthly Weather Review, 143(12), pp. 4805–4821, <https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/143/12/mwr-d-15-0104.1.xml>.
96. Reisinger A., Howden M., Vera C., et al., (2020), *The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, Pp.15.
97. Rosenfeld D., Woodley W. L., Lerner A., Kelman G., and Lindsey D. T., (2008), *Satellite detection of severe convective storms by their retrieved vertical profiles of cloud particle effective radius and thermodynamic phase*. J. Geophys. Res., 113, D04208, doi:[10.1029/2007JD008600](https://doi.org/10.1029/2007JD008600).
98. Sanchez J.L., Merino A., Melcón P., García-Ortega E., Fernández-González S., Berthe, C., Dessens J., (2017), *Are meteorological conditions favoring hail precipitation change in Southern Europe? Analysis of the period 1948–2015*, Atmospheric Research, 198, pp. 1–10, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.08.003>.
99. Sfică L., Apostol L., Istrate V., Lesenciuc D., Necula M.F., (2015), *Instability indices as predictors of atmospheric lightning - Moldova region study case*, SGEM 2015 Conference Proceedings 15, pp. 387 – 394, doi: 10.5593/SGEM2015/B31/S12.050.
100. Sfică L., Istrate V., Hrițac R., Machidon O.M., Apostol L., (2021), *Synoptic patterns associated to hail occurrence in North-East Romania –manuscris*
101. Sfică L., Beck C., Nita A.I., Voiculescu M., Birsan M.V., Philipp A., (2021), *Cloud cover changes driven by atmospheric circulation in Europe during the last decades*, Int J Climatol., 41 (Suppl. 1), E2211– E2230, <https://doi.org/10.1002/joc.6841>.
102. Shishkin N.S., și Glushkova N.I., (1965), *Metode de prognozare grindinei*. Scrisoare metodică TSIP. Moscova, Hidrometeoizdat, 19 pp. (în rusă).

103. Siedlecki M., (2009), *Selected instability indices in Europe*, Theor Appl Climatol 96, pp. 85–94, <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0034-4>.
104. Skripniková K., Řezáčová D., (2014) *Radar-based hail detection*, Atmospheric Research 144, pp. 175–185, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.06.002>.
105. Stan-Sion A, Antonescu B., (2006), *Mesocyclones in Romania –characteristics and environments*, In Proceedings of 23rd Conference on Severe Local Storms, 6–10 November 2006, St. Louis, MO. American Meteorological Society: Boston, MA.
106. Stohl A., Scheifinger H., (1994), *A weather pattern classification by trajectory clustering*, Meteorol. Z., 3, pp. 333–336, DOI: 10.1127/metz/3/1994/333.
107. Stoian R., Chertic E., (1969), *Experimentări privind includerea gradului de instabilitate termică a atmosferei în calculul precipitațiilor convective*, Culegerea de lucrări a Institutului Meteorologic, 5, pp. 46-65.
108. Strumpf G., Smith T., Hocker J., (2004), *New hail diagnostic parameters derived by integrating multiple radars and multiple sensors*, 22nd Conference on Severe Local Storms, USA.
109. Sulakvelidze G.K., Glushkova N.I., Fedchenko L.M., (1977), *Forecasting of hail, thunderstorms and showers*, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
110. Suwala K., Bednorz E., 2013. *Climatology of hail in Central Europe*. Quaestiones Geographicae 32, 99–110.
111. Taszarek M., Allen J.T., Groenemeijer P., Edwards R., Brooks H.E., Chmielewski V., Enno S., (2020a), *Severe convective storms across Europe and the United States. Part I: Climatology of lightning, large hail, severe wind and tornadoes*, J. Climate, 33(23), pp. 10239-10261 <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0345.1>
112. Taszarek M., Allen J.T., Púčik T., Hoogewind K.A., Brooks H.E., (2020b), *Severe Convective Storms across Europe and the United States. Part II: ERA5 Environments Associated with Lightning, Large Hail, Severe Wind, and Tornadoes*, Journal of Climate, 33(23), pp. 10263-10286, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0346.1>.
113. Taszarek M., Brooks H.E., Czernecki B., (2017), *Sounding-Derived Parameters Associated with Convective Hazards in Europe*, Monthly Weather Review, 145(4), pp. 1511-1528, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0384.1>.
114. Țîmpu S., Sfîcă L., Dobri R.V., Cazacu M.M., Nita A.I., Birsan M.-V., (2020), *Tropospheric Dust and Associated Atmospheric Circulations over the Mediterranean Region with Focus on Romania's Territory*, Atmosphere, 11, 349. <https://doi.org/10.3390/atmos11040349>.
115. Waldvogel A., Federer B., Schmid W., Mezeix J.F., (1978b), *The kinetic energy of hailfalls. part 2: Radar and hailpads*, J. Appl. Meteor., 17, pp. 1680-1693.
116. Waldvogel A., Schmid W., Federer B., (1978a), *The Kinetic Energy of Hailfalls. Part I*
117. Witt A., Eilts M.D., Stumpf G.J., Johnson J.T., Mitchell E.D., Thomas K.W., (1998), *An enhanced hail detection algorithm for the WSR-88D*, Wea. Forecasting, 13, pp. 286-303, Doi: 10.1175/1520-0434(1998)013<0286:AEHDAF>2.0.CO;2.
118. \* \* \* (1983), Geografia României, vol. I, Edit. Academiei, București.
119. \* \* \* (2008), Clima României, Edit. Academiei Române, București
120. www.insse.ro Date statistice privind producția agricolă din Moldova.

