IMPACTUL ÎNGHEȚURILOR TÂRZII DE PRIMĂVARĂ ASUPRA CULTURILOR DE MĂR PE TERITORIUL REPUBLICII MOLDOVA ÎN CONTEXTUL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE

THE IMPACT OF LATE SPRING FROSTS ON APPLE CULTIVATION IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

CZU: [632.111.52:634.11]:551.583"321"(478) https://doi.org/10.59295/spd2025e.56

Aliona BOTNARI
ORCID: 0000-0002-7930-3746
E-mail: lionkabotnari@gmail.com
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Viorica ANGHELUȚA
ORCID: 0009-0007-3565-0811
E-mail: vioricaangheluta@gmail.com
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Ilie BOIAN
ORCID: 0000-0002-7632-2562
E-mail: ilieboian@mail.ru
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *This study aims to assess the impact of late spring frosts on apple crops (Malus domestica Borkh.) in the Republic of Moldova, with a case focus on the Ialpug river basin. The objectives were to analyze the duration and intensity of late frosts in relation to sensitive phenological stages of apple trees and to identify critical overlap periods with bud development and flowering. The research used phenological and climatic data from 2005–2020 provided by the State Hydrometeorological Service, associating phenological observations with nearby meteorological stations. Statistical processing was conducted in Microsoft Excel, while spatio-temporal modeling was performed through linear interpolation in ArcGIS. Results show that southern Moldova, especially the Ialpug basin, is highly vulnerable, with minimum temperatures reaching –3.5 °C during critical growth stages, causing considerable damage. The findings underline the need for adaptive orchard planning, the selection of tolerant cultivars and rootstocks, and the implementation of early warning systems to strengthen the resilience of apple production in the face of more frequent and severe late spring frost events.*

Keywords: *phenological phases, apple plantations, late frosts, Ialpug river basin.*

INTRODUCERE

Schimbările climatice s-au intensificat în ultimele decenii, afectând ecosistemele agricole și stabilitatea producției pomicole la scară globală. Republica Moldova, cu climat temperat continental, resimte tot mai frecvent efectele acestor transformări prin creșterea fenomenelor meteorologice extreme: secetă, grindină, ploi torențiale și înghețuri în afara sezonului hibernal [3].

Vulnerabilitatea mărului la aceste fenomene este strâns legată de fenologia culturii, în special în fazele timpurii (desfacerea mugurilor, înflorirea, formarea fructelor). Temperaturile critice diferă în funcție de stadiu: bobocii rezistă până la -2,8…-4°C, florile deschise sunt afectate între -1,7…-3,2°C, iar fructele abia formate pot fi compromise la -1,1…-2,7°C [2, 3, 10]. Cea mai vulnerabilă componentă floral este pistilul, a cărui distrugere precoce duce la avortarea florilor, chiar dacă celelalte organe (stamine, ovare) rămân intacte. Studii din SUA [8] au arătat că mugurii de măr pot suporta -2°C dacă dezghețarea se produce lent, fără ruperea pereților celulari, însă un dezgheț rapid provoacă leziuni severe chiar la temperaturi moderate, ceea ce explică de ce nu doar minima atinsă, ci și dinamica termică a nopții este importantă. În condițiile actuale, cu temperaturi medii anuale în creștere și fenofaze de primăvară devansate [6], pomii fructiferi sunt expuși mai devreme riscului înghețurilor tardive, astfel încât suprapunerea fazelor sensibile cu episoadele reci devine mai probabilă.

Capacitatea de adaptare a soiurilor și plasticitatea lor ecologică joacă un rol major în răspunsul la stresul termic, iar evaluarea corelată a datelor meteorologice și a fenologiei este esențială pentru planificarea adaptivă a livezilor [7].

În plus, măsuri precum alegerea soiurilor tolerante, managementul termic al solului, tăieri raționale, optimizarea nutriției sau utilizarea stațiilor automate de avertizare timpurie pot spori reziliența sistemelor pomicole [1].

În acest context, studiul își propune să evalueze impactul înghețurilor târzii de primăvară asupra culturilor de măr în Republica Moldova în raport cu schimbările climatice, prin analiza duratei și intensității înghețurilor în corelație cu fenofazele sensibile ale mărului, determinarea etapelor fenologice vulnerabile (umflarea mugurelui, desfacerea mugurelui, formarea butonului floral) și a perioadelor critice de suprapunere cu aceste episoade, analiza spațio-temporală a fenomenelor din bazinul hidrografic Ialpug pe baza datelor de la stațiile Cahul, Comrat și punctul fenologic Basarabeasca, precum și compararea frecvenței și intensității înghețurilor din sudul țării cu regiunile centrale și nordice, pentru evidențierea particularităților microclimatice ale bazinului Ialpug.

MATERIALE ȘI METODE

Pentru realizarea acestei cercetări au fost utilizate date factologice provenite din arhiva Serviciului Hidrometeorologic de Stat (SHS) [5], vizând manifestarea fazelor fenologice ale mărului, precum și durata și intensitatea înghețurilor târzii de primăva-

ră, în perioada 2005–2020. Data ultimului îngheț a fost determinată ca fiind ultima zi a lunii în care s-a înregistrat o scădere a temperaturii aerului sub 0°C în sezonul de primăvară. În conformitate cu recomandările metodologice din literatura de specialitate și cu practica standardizată în studiile de profil, evaluarea pericolului de îngheț a fost efectuată prin corelarea valorilor minime de temperatură (Tmin < 0°C), înregistrate la înălțimea standard de 2 metri în adăpost meteorologic, cu etapele fenologice sensibile ale mărului: dezmugurirea, desfacerea mugurelui, apariția primelor frunze, butonul floral, înflorirea și sfârșitul înfloririi.

Având în vedere că, în unele cazuri, amplasarea geografică a stațiilor fenologice nu coincide cu cea a stațiilor meteorologice, suprapunerea datelor s-a realizat prin asocierea fiecărei stații fenologice cu cea mai apropiată stație meteorologică, respectiv: Florești - Bălți, Drochia - Soroca, Strășeni - Bravicea, Orhei - Bravicea și Basarabeasca - Comrat. Prelucrarea și analiza statistică a informațiilor s-a efectuat utilizând programul Microsoft Excel, iar pentru modelarea spațio-temporală a distribuției înghețurilor periculoase (în funcție de durată și intensitate) s-a utilizat metoda interpolării liniare în cadrul aplicației ArcGIS. La baza interpolării au stat date climatologice multianuale provenite de la 17 stații meteorologice din rețeaua oficială a SHS.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Temperaturile minime care apar în afara sezonului lor obișnuit, cum sunt înghețurile de primăvară, pe fondul unor temperaturi deja pozitive, reprezintă episoade de scurtă durată, dar cu impact semnificativ asupra culturilor agricole. În mod normal, înghețurile tardive sunt considerate riscuri relevante pentru plantele de cultură din regiune după 1 aprilie.

Pentru a identifica perioadele critice în care înghețurile pot afecta cultura mărului, au fost analizați parametrii principali ai acestor fenomene - durata și intensitatea - în intervalul 2005–2020 (fig. 1, 2).

În Republica Moldova, perioadele sinoptice favorabile apariției înghețurilor în primăvară sunt relativ scurte, în medie 1–2 zile, distribuite neuniform pe teritoriul țării. Această variabilitate se explică prin transformările maselor de aer rece arctic în deplasarea lor spre sud, influențate de condițiile fizico-geografice locale.

Analiza spațio-temporală a duratei înghețurilor periculoase în contextul schimbărilor climatice arată că, față de studiile anterioare, cele mai timpurii și cele mai târzii înghețuri au în general o durată scurtă (1–2 zile), explicabilă prin încălzirea rapidă a aerului de la suprafață. Totuși, durata anuală a acestor înghețuri variază considerabil, de la minimum 1 zi (stația Fălești) la maximum 16 zile (stația Cornești).

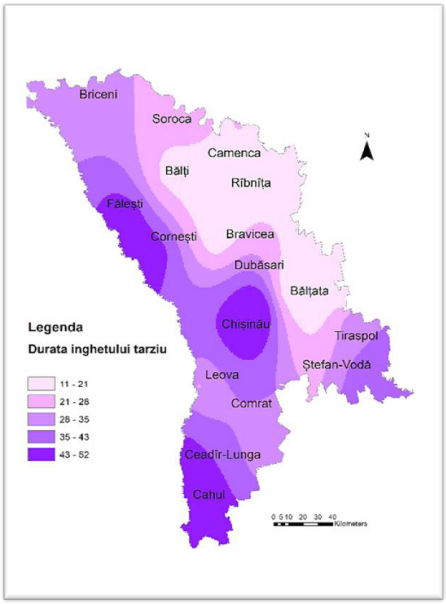


Figura 1. Durata înghețurilor tardive de primăvară (zile)

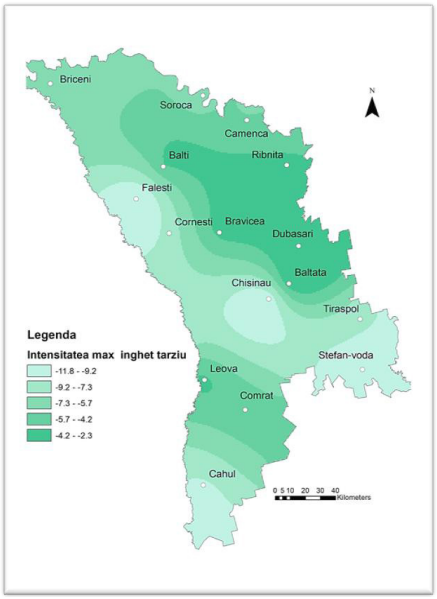


Figura 2. Intensitatea înghețurilor

Pentru perioada 2005–2020, durata înghețurilor tardive de primăvară a variat la nivel național între 18 și 51 de zile, cu o medie anuală de aproximativ 35 de zile. Anii cei mai afectați au fost 2010 (75 de zile), 2018 (52 de zile) și 2006 (51 de zile), în timp ce cele mai scurte durate s-au înregistrat în 2007 și 2015 (22 de zile) și în 2011 (23 de zile). Cele mai multe zile cu îngheț în perioada analizată au fost raportate în martie - 294 zile cumulate, cu maxime la stațiile Chișinău (48 de zile) și Fălești (45 de zile).

Un alt parametru important este intensitatea înghețurilor, care variază semnificativ pe teritoriul țării, influențată de factori fizico-geografici și climatici. Intensitatea crește în câmpiile joase, unde aerul rece se acumulează, în timp ce relieful fragmentat din centru-nord favorizează circulația aerului, reducând durata și severitatea înghețurilor. De asemenea, corpurile de apă pot crea inversiuni termice care intensifică înghețurile în anumite condiții. Zonele cu climat mai continental, expuse la mase de aer rece și uscat, prezintă o umiditate relativă mai scăzută în primăvară, favorizând răcirea rapidă a solului și a aerului pe timp de noapte și conducând la temperaturi extreme, cum s-a observat la stațiile Cahul și Ștefan Vodă.

Referitor la relevanța economică, datele statistice indică, între 2007 și 2020, o scădere considerabilă a suprafețelor cultivate cu măr: peste 22% la nivel total și peste 29% în suprafața de rod (tab. 1).

Pe fundalul acestei reduceri teritoriale, se evidențiază o creștere spectaculoasă a productivității: de la 45,2 chintale/ha în 2007 la 180,8 chintale/ha în 2020, ceea ce reprezintă o creștere de aproape 300%. Această evoluție pozitivă poate fi interpretată

ca rezultat al modernizării plantațiilor, al introducerii tehnologiilor avansate de cultivare, al irigației eficiente, precum și al extinderii soiurilor de înaltă performanță, adaptate cerințelor de calitate și rezistență.

Tabelul 1. Dinamica suprafețelor plantațiilor de măr la nivel național pentru perioada anilor 2007 – 2020

Indicator	2007	2020	Media 2007 - 2020	Diferență 2020–2007	Evoluție %
Suprafața totală, ha	33041.0	25667.0	29561.3	- 7374.0	-22.3
Suprafața de rod, ha	30187.0	21407.0	23949.8	-8780.0	-29.1
Roada medie, chintale/ha	45.2	180.8	92.1	+135.6	+299.6

Sursa: statistica.md

Astfel, în ciuda reducerii suprafețelor cultivate, producția de mere a devenit mai intensivă și mai eficientă, reflectând o adaptare inteligentă a fermierilor la noile condiții economice și climatice.

Cunoașterea momentului înfloririi pomilor, corelată cu data înghețurilor tardive, permite estimarea riscului de pierdere a productivității la hectar. Aceste înghețuri devin periculoase atunci când mugurii florali ajung în stadii avansate de dezvoltare, fiind mai sensibili la temperaturi scăzute sub un prag critic.

În perioada analizată, suprapunerea înghețurilor cu fenofazele sensibile ale mărului s-a observat între 1 și 8 cazuri pe an, în funcție de regiune. De exemplu, în 2020, în zone precum Florești și Bălți au fost raportate până la 8 coincidențe între îngheț și etapele vulnerabile de dezvoltare (tab. 2).

Tabelul 2. Durata și intensitatea înghețurilor tardive de primăvară în intervalul fenologic dezmugurire - sfârșitul înfloririi

Stația meteorologică	Anii	Intensitatea înghețurilor (°C)	Durata, cazuri (zile)	Stația meteorologică	Anii	Intensitatea (°C)	Durata Cazuri (zile)
Briceni	2007	-1.7 - -2.0	4(6)	Cahul	2012	-3.4	1(1)
	2015	-0.2 - -3.8	3(6)		2013	-3.2 - -8.2	2(8)
	2016	-1.2 - -3.5	6(13)		2020	-1.3 - -4.9	1(3)
	2020	-0.1 - -6.7	7(16)	Bravicea	2007	-0.3 - -3.0	7(9)

Drochia (Soroca)	2007	-1.1 - -3.3	6(7)		2019	-0.1 - -4.1	5(13)
	2008	-2.7 - -2.8	2(6)		2020	-1.5 - -9.5	5(11)
	2012	-0.3 - -2.4	5(5)	Chișinău	2020	-1.2 - -3.9	3(8)
	2014	-2.0 - -7.1	2(4)	Strășeni (Bravicea)	2007	-0.3 - -3.0	7(9)
	2016	-1.2 - -3.9	2(6)		2019	-0.1 - -4.1	5(13)
	2017	-0.1 - -1.6	5(6)		2020	-1.5 - -9.5	5(11)
Camenca	2007	-0.4 - -1.3	4(5)	Florești (Bălți)	2014	-1.0 - -3.5	2(4)
	2012	-0.5 - -2.1	2(3)		2016	-0.6 - -6.1	6(14)
	2013	-2.9 - -12.0	3(12)		2019	-2.0 - -4.1	4(6)
	2014	-1.3 - -5.6	3(5)		2020	-0.4 - -9.7	8(19)
	2015	-1.6 - -5.4	6(12)				

Sursa: prelucrare autori după datele SHS

Pe baza acestei analize pot fi identificați anii cu frecvență ridicată a înghețurilor cu potențial distructiv, precum 2007, 2008, 2016, 2017, 2019 și 2020, când cultura mărului a fost expusă unui risc major. În alți ani, înghețurile periculoase au avut loc înainte de faza de dezmugurire, astfel încât plantațiile nu au fost afectate direct, evitându-se compromiterea producției.

Datele fenologice au permis elaborarea Tabelului 2, care arată repartiția spațio-temporală a duratei și intensității înghețurilor tardive, subliniind frecvența ridicată a episoadelor în faza de desfacere a mugurilor. În această etapă, de exemplu, în 2014 la stația Camenca s-au înregistrat temperaturi de până la -5,6°C, cu potențial distructiv mare asupra mugurilor în activare fiziologică.

Un alt exemplu este cel al înghețurilor din faza de formare a butonului floral, când în 2010 la Briceni și Orhei temperatura a coborât până la -1,3°C, afectând organele generative în dezvoltare.

Situații deosebit de periculoase s-au înregistrat și în faza de înflorire, cum a fost cazul anilor 2007 și 2012 la Briceni, cu temperaturi de -2,0°C și -0,5°C, afectând fertilizarea florilor și formarea fructelor. Fenomene similare au fost raportate și în 2020 la Bravicea, unde temperatura a scăzut până la -1,6°C în timpul înfloririi.

În concluzie, soiurile de măr cu un început timpuriu al vegetației sunt cele mai expuse riscurilor înghețurilor tardive, fiind surprinse frecvent în fenofaze sensibile (III–VI), când chiar și scăderi scurte de temperatură sub pragurile critice pot afecta semnificativ producția. Impactul real este sintetizat în tabelul 3.

Tabelul 3. Repartiția spațio-temporală a duratei și intensității înghețurilor tardive de primăvară și fazele fenologice cu care s-au suprapus

Stația meteorologică	**Data de manifestare îngheț târziu**	**Intensitate îngheț târziu**	**Faza de dezvoltare la măr**	**Stația meteorologică**	**Data de manifestare îngheț târziu**	**Intensitate îngheț târziu**	**Faza de dezvoltare la măr**
Bravicea	03.05.2007 26.04.2009 20.04.2019 21.04.2020	-0.3 -0.2 -0.1 -1.6	V IV IV V	Briceni	2.05.2007 23.04.2010 18.04.2017	-2 -1.3 -0.3	V IV V
Bălțata (Orhei)	22.04.2007 26.04.2008 27.04.2010	-1.0 -0.3 -1.3	IV IV IV	Soroca (Drochia)	4.05.2007 10.05.2017	-1.4 - -1.2 -0.1	V V
Chișinău	20; 21.04.2017	-0.6	V	Camenca	2.05.2007	-0.4	IV
Comrat (Basarabeasca)	23.04.2009	-1.8	IV	Bălți (Florești)	27.04.2016 21.04.2017 21.04.2020	-0.6 -0.3 -2.0	V IV IV
Cahul	25; 26.03.2016	-3.5	IV	Bravicea (Strășeni)	3.05.2007 26.04.2009 23.04.2010 21.04.2011 20.04.2019 21.04.2020	-0.3 -0.2 -1.3 -0.9 -0.1 -1.6	V V IV IV IV IV

Sursa: prelucrare autori după datele SHS

Impactul negativ al înghețurilor târzii de primăvară asupra mărului depinde în mare măsură de faza fenologică în care se află planta la momentul fenomenului. Începând cu faza de dezmugurire, mugurii devin foarte sensibili la temperaturi sub -1°C, mai ales în sudul țării, unde astfel de valori pot duce la distrugerea completă a mugurilor.

Soiurile cu vegetație și înflorire medii s-au aflat de multe ori în stadii incipiente (fenofazele I–III) în perioada înghețurilor, reducând astfel riscurile. În schimb, soiurile cu înflorire târzie, care au început vegetația după trecerea perioadei de risc, nu au fost afectate și și-au păstrat potențialul productiv.

Datele din Tabelul 3 arată că după 2005, episoadele de îngheț periculos s-au suprapus tot mai des cu fenofazele avansate (IV–V), ceea ce indică o tendință de creștere a intensității și frecvenței acestor fenomene. De exemplu, în mai 2007 s-au înregis-

trat temperaturi între -0,3°C și -2,0°C în plină înflorire, la Briceni, Bravicea și Soroca, compromițând semnificativ recolta. Un caz similar a fost în aprilie 2020, când la Bravicea s-au înregistrat -1,6°C în timpul fertilizării florilor.

În bazinul hidrografic Ialpug, situat în sudul Republicii Moldova, relieful de câmpie joasă favorizează acumularea maselor de aer rece, determinând o frecvență ridicată a înghețurilor în etapele critice de dezvoltare. Cele mai intense episoade s-au produs în fazele de umflare a mugurelui (I), desfacere a mugurelui (II) și formare a butonului floral (IV). Un exemplu este anul 2012, când la stația Cahul temperatura a coborât până la -3,4°C în faza de desfacere a mugurilor, afectând serios recolta soiurilor termofile cultivate în zonă.

De asemenea, în anii 2011, 2013 și 2020, la Cahul s-au înregistrat temperaturi între -3,5°C și -2,3°C în fenofazele I–III, confirmând caracterul recurent al acestor fenomene. Și la Comrat, între 2007 și 2015, au fost episoade de îngheț între -1,1°C și -2,0°C, în special în faza de umflare a mugurelui sau chiar anterior.

În sudul țării, soiurile de măr cu cerințe termice ridicate sunt mai vulnerabile, iar lipsa reliefului fragmentat favorizează stagnarea aerului rece, accentuând riscurile. Spre deosebire de regiunile centrale și nordice, unde dealurile permit dispersia maselor de aer, sudul rămâne expus unui microclimat continental sever.

Pe acest fond, este necesară adaptarea sortimentului pomicol din bazinul Ialpug, promovând soiuri cu înflorire mai târzie și toleranță mai mare la stres termic. Totodată, se recomandă implementarea de sisteme de avertizare timpurie, tehnologii de protecție și o monitorizare fenologică mai atentă.

Acest studiu de caz confirmă că bazinul Ialpug reprezintă un punct critic de vulnerabilitate climatică pentru cultura mărului în Republica Moldova și trebuie inclus prioritar în strategiile de adaptare agroclimatică.

CONCLUZII

Studiul evidențiază că înghețurile târzii de primăvară, prin durata și intensitatea lor variabilă în spațiu și timp, reprezintă un factor major de risc pentru fenologia și productivitatea culturii de măr în Republica Moldova. Deși considerată o specie relativ rezistentă, mărul reacționează sensibil în fazele critice de dezvoltare, cum sunt dezmugurirea, desfacerea mugurelui, formarea butonului floral și înflorirea, mai ales în contextul schimbărilor climatice actuale.

În perioada 2007 - 2020, suprafața plantațiilor de măr a scăzut cu peste 22%, iar suprafața de rod cu 29%. În același timp, productivitatea medie a crescut spectaculos, de la 45,2 chintale/ha la 180,8 chintale/ha, semnalând modernizarea livezilor, utilizarea unor soiuri performante și implementarea tehnologiilor agricole avansate.

Episoadele de îngheț cu impact agricol ridicat au fost înregistrate în anii 2007, 2010, 2012 și 2020, când temperaturile negative au coincis cu fenofaze sensibile precum înflorirea, cauzând pierderi considerabile de recoltă. Regiunile cele mai afectate sunt

cele nordice (Briceni, Bălți, Bălțata - în special în faza de înflorire) și cele sudice (Cahul, Comrat - în fazele timpurii).

În acest context, bazinul hidrografic Ialpug, situat în sudul țării, se conturează ca o zonă cu vulnerabilitate climatică ridicată. Relieful de câmpie joasă și lipsa barierelor naturale favorizează acumularea aerului rece și stagnarea îndelungată a temperaturilor negative în perioade critice. Datele de la stațiile meteorologice Cahul, Comrat și Basarabeasca indică o frecvență crescută a înghețurilor în fazele timpurii ale mărului, cu valori minime de până la -3,4°C (Cahul, 2012), care afectează grav mugurii florali. Această realitate impune adaptarea sortimentului pomicol prin introducerea de soiuri cu înflorire mai tardivă, aplicarea măsurilor agrotehnice de protecție și dezvoltarea unor sisteme locale de avertizare timpurie.

Astfel, monitorizarea atentă a riscurilor climatice și adaptarea tehnologică a livezilor sunt esențiale pentru menținerea durabilă a sectorului pomicol, în special în zonele cele mai expuse, cum este cazul bazinului Ialpug.

REFERINȚE:

1. ACSA (2021). *Bunele practici de creștere a fructelor, strugurilor și pomușoarelor în contextul schimbărilor climatice*. Chișinău.
2. BABUC, I. (2012). *Particularități agrometeorologice și agrotehnice ale culturilor pomicole din Moldova*. Chișinău.
3. BALAN, V. (2021). *Impactul fenomenelor climatice asupra pomiculturii din Republica Moldova*. Chișinău.
4. CHANDLER, W.H. (1960). *Temperature injuries in fruit buds*. Missouri Agricultural Bulletin.
5. Datele din Arhiva Serviciului Hidrometeorologic de Stat (SHS), 2005 - 2020.
6. KONDRATENKO, T.E. et al. (2015). *Phenology of Apple Tree in Kyiv Region under Climate Change*. Horticulture Institute NAAS Ukraine.
7. SAKAI, A. & LARCHER, W. (1987). *Frost Survival of Plants: Responses and Adaptation to Freezing Stress*. Springer.
8. WEST, F.L., & EDLEFSEN, N.E. (1917). *The Freezing of Fruit Buds*. Bulletin No. 151, Utah Agricultural Experiment Station
9. СТРИЖАНЦЕВА, Н. (2017). *Агрометеорология*. Харків.
10. ВЕНЦКЕВИЧ, Г. З. (1952). *Сельскохозяйственная метеорология*. Гидрометеоиздат.

N.B. *Cercetările au fost efectuate în cadrul subprogramului: „Sporirea securității ecologice și rezilienței geo-ecosistemelor la modificările actuale de mediu” (EPMSERM 010801).*