

UDC 551.58+911.2(4-11)

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2026-2-4>

## A HÓTAKARÓS IDŐSZAK VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA KÁRPÁTALJA TÉRSÉGÉBEN AZ 1961–2010-ES IDŐSZAKBAN GEOINFORMATIKAI MÓDSZEREKKEL

### Molnár József Jozhefovich

PhD, Földrajztudományok Kandidátusa, Docens,

Földrajz és Turizmus Tanszék vezetője,

II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Egyetem, Beregszász, Ukrajna

ORCID ID: 0000-0002-5178-0305

### Molnár D. István Stefanovich

PhD, Docens,

Földrajz és Turizmus Tanszék,

II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Egyetem, Beregszász, Ukrajna

ORCID ID: 0000-0003-2959-9136

### Szabó Bence Fedorovich

Egyetemi Hallgató, BSc III. Évfolyam,

II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Egyetem, Beregszász, Ukrajna

ORCID ID: 0009-0002-4585-2656

***A kutatás aktualitása:** az éghajlat melegedése és az azzal összefüggő jelenségek, mint a hótakaró változása, korunk legfontosabb környezeti problémái közé lépett elő mind globális, mind regionális szinten. **A kutatás tárgya:** a hótakaró tartósságának a változása Kárpátalja térségében az utóbbi évtizedekben. **A kutatás célja:** feltárni a hótakaró változásának regionális sajátosságait Kárpátalján az 1961–2010-es időszak folyamán, illetve azonosítani azok lehetséges okait. **Módszerek:** elsősorban matematikai-statisztikai módszereket alkalmaztunk, kiemelten trendelemzést, valamint jelentős szerepet kaptak a kartográfiai ábrázolási és elemzési módszerek. **Eredmények:** A lineáris trendelemzés a vizsgált évtizedekre vonatkozóan a térségben elsősorban a hótakaró tavaszi elolvadásának a dátumában talált szignifikáns trendet, amely a hegyvidéken került számottevően korábbra. Az első hólepel kialakulásának az őszi időpontja ugyanakkor jelentősen nem változott. A hótakarós napok számának a változása, bár jelentős volt, de a terület nagy részén szintén nem bizonyult szignifikánsnak, ami az évek közötti nagy változékonysággal függhetett össze. **Gyakorlati jelentősége:** a kapott eredmények elősegíthetik az éghajlatváltozás következményeinek, így a hótakaró változásának a jobb megértését, az előrejelzések fejlesztését és a következményekhez való jobb alkalmazkodást. **Következtetések:** a hótakarós napok száma Kárpátalja térségében is változik, bár a változások térben és időben jelentősen eltérhetnek. **A továbblépés lehetőségei:** az eredmények jó alapot biztosítanak a további elemzésekhez, többek között a hótakaró vastagságának a vizsgálatához, illetve a kutatások kiterjesztéséhez térben és időben.*

***Kulcsszavak:** éghajlatváltozás, hótakaró, Kárpátalja, lineáris trendek, kriging, GIS.*

## АНАЛІЗ ЗМІНИ ТРИВАЛОСТІ СНІГОВОГО ПОКРИВУ НА ЗАКАРПАТТІ ПРОТЯГОМ 1961–2010 РОКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ МЕТОДІВ

### Молнар Йосип Йозефович

кандидат географічних наук, доцент,

завідувач кафедри географії та туризму,

Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II, м. Берегове, Україна

ORCID ID: 0000-0002-5178-0305

**Молнар Д Стефан Стефанович**

PhD, доцент,

доцент кафедри географії та туризму,

Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II, м. Берегове, Україна

ORCID ID: 0000-0003-2959-9136

**Сабов Бенце Федорович**

здобувач вищої освіти,

Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II, м. Берегове, Україна

ORCID ID: 0009-0002-4585-2656

***Актуальність дослідження:** потепління клімату та пов'язані з ним явища, як-от зміна снігового покриву, вийшли на передові позиції серед екологічних проблем сучасності як у глобальному, так і в регіональному масштабі. **Предмет дослідження:** зміна тривалості снігового покриву на Закарпатті та в його околицях за останні десятиріччя. **Мета дослідження** – розкрити регіональні особливості зміни снігового покриву на Закарпатті протягом 1961–2010 років, виявити їх можливі причини. **Методи дослідження:** основними виступили методи статистичного аналізу, передусім трендовий аналіз, також значну роль відведено картографічним методам зображення та аналізу. **Результати дослідження:** аналізи виявили значимі лінійні тренди передусім у датах весняного розтанення снігового покриву за 1961–2010 роки, які особливо в гірських регіонах Карпат стали наступати раніше. Водночас осіння дата утворення першого снігового покриву суттєво не змінилася. Зміна кількості днів зі сніговим покривом, хоча й була чималою, також не була значимою на більшій частині території, що може бути пов'язано з високою мінливістю між роками. **Практичне значення:** отримані результати можуть допомогти краще зрозуміти наслідки зміни клімату, зокрема зміни снігового покриву, покращити прогнози та краще адаптуватися до наслідків. **Висновки:** кількість днів зі сніговим покривом змінюється і в Закарпатській області, але зміни можуть суттєво відрізнятися в просторі та часі. **Перспектива подальших досліджень:** результати можуть послужити основою для подальшого аналізу, включно з вивченням товщини снігового покриву та розширенням досліджень у просторі та часі.*

***Ключові слова:** зміна клімату, сніговий покрив, Закарпаття, лінійні тренди, крігінг, ГІС.*

**ANALYSIS OF VARIATIONS IN SNOW COVER IN THE TRANSCARPATHIAN REGION BETWEEN 1961 AND 2010 USING GIS METHODS**

**Molnár Yosyp Yozhefovych**

PhD in Earth Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of Geography and Tourism,

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian University, Berehove, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-5178-0305

**Molnár D Stefan Stefanovych**

PhD in Earth Sciences, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Geography and Tourism,

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian University, Berehove, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-2959-9136

**Sabov Bentse Fedorovych**

Higher Education Student,

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian University, Berehove, Ukraine

ORCID ID: 0009-0002-4585-2656

***Relevance of the study:** Climate warming and related phenomena, such as changes in snow cover, have become among the most important environmental problems of our time at both global and regional scales. **Subject of the study:** Changes in the duration of snow cover in the Transcarpathian region over recent decades. **Aim of the study** – to*

reveal the regional characteristics of snow-cover changes in Transcarpathia during 1961–2010 and to identify their possible causes. **Methods:** The study primarily applied mathematical and statistical methods, with an emphasis on trend analysis; cartographic methods of visualization and spatial analysis also played a significant role. **Results:** Trend analysis for the study period revealed a statistically significant linear trend primarily in the timing of spring snowmelt, with melt dates occurring markedly earlier in mountainous areas. In contrast, the autumn onset of the first snow cover did not change significantly. Although the number of snow-cover days changed substantially, this change was not statistically significant across most of the study area, which may be attributable to strong interannual variability. **Practical significance:** The findings contribute to a better understanding of the impacts of climate change – particularly snow-cover change – and may support improved forecasting and adaptation. **Conclusions:** The number of days with snow cover is changing in Transcarpathia region, but the changes may differ substantially across space and time. Future research directions: The results provide a basis for further analyses, including assessments of snow depth, and for extending the study in both spatial and temporal scope.

**Keywords:** climate change, snow cover, Transcarpathia, linear trends, kriging, GIS.

**Problémafelvetés.** A globális felmelegedés napjainkban a szakmai érdeklődésen túl széleskörű társadalmi-politikai diskurzus tárgyává vált, annak minden kedvező és kedvezőtlen hozadékával együtt. A felmelegedés ténye jól adatolva van, és határozott álláspontot fogalmazott meg a kérdésben az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) több jelentése is, amely annak globális lineáris trendjét  $0,74^{\circ}\text{C}$ -ban határozta meg az 1906–2005-ös évszázadra [1], a 2011–2020-as évtized átlaghőmérsékletét pedig  $1,09^{\circ}\text{C}$ -kal becsülte magasabbra az 1850–1900-as bázisidőszakhoz viszonyítva [2: 4]. A hőmérséklet módosulás okai, következményei, valamint jövőbeli alakulása azonban nem ennyire egyértelműek, további vizsgálatokat igényelnek.

Ugyancsak sok a bizonytalanság a többi éghajlati elem változása kérdésében, bár ezek is jelentős hatást gyakorolhatnak a mindennapi életünkre és a gazdaságra. Ilyen a hótakaró tartóssága és vastagsága, melynek változása a síturizmus számára jelenthet veszélyforrást [3]. A hótakaró maga is éghajlatalakító tényező, így a visszahúzódása – pozitív visszacsatolási folyamatok következtében – tovább fokozhatja a megindult felmelegedést [4]. A meglévő bizonytalanság tág teret biztosít az ezirányú kutatómunkának. Ennek keretébe illeszkedik tanulmányunk is, amely a hótakaró változásaira fókuszál Kárpátalja térségében az utóbbi évtizedekben.

#### **A releváns publikációk áttekintése.**

A hótakaró az éghajlat módosulásaira látványosan reagál, nem véletlen, hogy számos vizsgálat foglalkozott a változásaival

az utóbbi évtizedekben. Változatos volt mind a vizsgálatok területi, mind az időbeli, mind az elemzett paraméterek szerinti megoszlása.

Miközben a globális felmelegedés az utóbbi évtizedekben Földünk szinte minden régióját érintette, ha nem is azonos mértékben [2], a hótakaró módosulásai ennél változatosabb képet festenek. Ez azzal függhet össze, hogy a hótakaró vastagságát, víztartalmát, illetve tartósságát a hőmérsékleten kívül a téli hónapok csapadékmennyisége is jelentősen befolyásolja. A két meghatározó tényező közül a kevéssel  $0^{\circ}\text{C}$  alatti átlagos téli hőmérsékletű területeken a felmelegedés hatása dominál, csökkenő trendeket produkálva a hótakaró jellemzőiben. A jócskán  $0^{\circ}\text{C}$  alatti téli középhőmérsékletek régióiban viszont az egyelőre mérsékelt hőmérséklet-emelkedés nem okoz jelentősebb hóolvadást, és inkább a magasabb hőmérsékletekkel összefüggő magasabb páratartalomtól adódó, hó formájában jelentkező csapadéktöbblet hótakarót növelő hatása érvényesül. Ez magyarázza, például, a kontrasztot a norvég tengerpart hóborítottságának csökkenő, illetve a hegyvidék növekvő tendenciái között [5], vagy a hótakaró XXI. századi növekvő gyakoriságát Izlandon [6].

Összességében azonban a hóval borított időszak hossza az Északi féltekében 1982 és 2013 között szignifikánsan, évtizedenként átlagosan  $1,04$  nappal csökkent, és vele párhuzamosan a hófödte terület is [7; 8]. Bár, elsősorban a hóborítás őszi korábbi kialakulásnak köszönhetően, Északkelet-Európában, Izlandon, Kelet-Ázsiában és Kanada közép-ső részén a hótakarós napok

száma a nevezett időszakban még némileg nőtt is [7].

A hótakaró vastagságának változása alapján Európa területileg megosztott volt az utóbbi évtizedekben: Közép-Európában a hóréteg vékonyodása, Északkelet-Európában ezzel ellentétes folyamatok domináltak [9]. Az egyes évek közötti jelentős változékonyság is nehezíti a trendek detektálását. Így, az 1952–2013-as időszakban Lengyelország területén a hótakaró vastagsága és a hótakarós időszak hossza általános csökkenése volt jellemző, de a trendek nem minden esetben bizonyultak szignifikánsnak [10]. A hótakaró paraméterei jelentős tér- és időbeli változékonyságot mutatnak Ukrajnában is, különösen a déli régiókban. Az ország északi részéről származó adatok viszont azt mutatják, hogy a hótakaró vastagsága az elmúlt évtizedekben szignifikánsan csökkent [11, p. 164]. A változékonyság nagyrészt a légkör makrocirkulációs rendszereinek a módosulásaival magyarázható [12].

Bolygónk nagyobb hegyvidékeinek a XXI. század elején alig több mint a felén csökkentek a hótakaró mutatói szignifikánsan, miközben helyenként (elsősorban a csapadékviszonyok módosulása következtében) azok szignifikánsan javultak. A Kárpátok nem tartoztak a kivételek közé: a téli hónapokra vonatkozóan a hótakaró szignifikáns csökkenése volt jellemző 2000 és 2018 között [13]. Azonban a csökkenés az általunk is vizsgált 1961–2010-es időszakban korántsem bizonyult az egész Kárpát-térségre jellemzőnek, jelentős térbeli változatosságot mutatva sok helyen nem volt szignifikáns [14].

Készült kifejezetten az Ukrán-Kárpátokra fókuszáló, az általunk is használt CARPATCLIM adatbázist használó, az 1961–2020-as időszakot felölelő munka is, amely a hótakaró vastagságát és tartósságát a magasság függvényében elemzi. A szerzők azt találták, hogy az alacsonyabb térszíneken a hótakaró vastagsága a várakozásnak megfelelően csökkent, viszont a magasabbakon növekedett [15; 16]. Hasonló tendenciákat mutattak az ausztriai és romániai meteorológiai állomások az utóbbi évtizedek

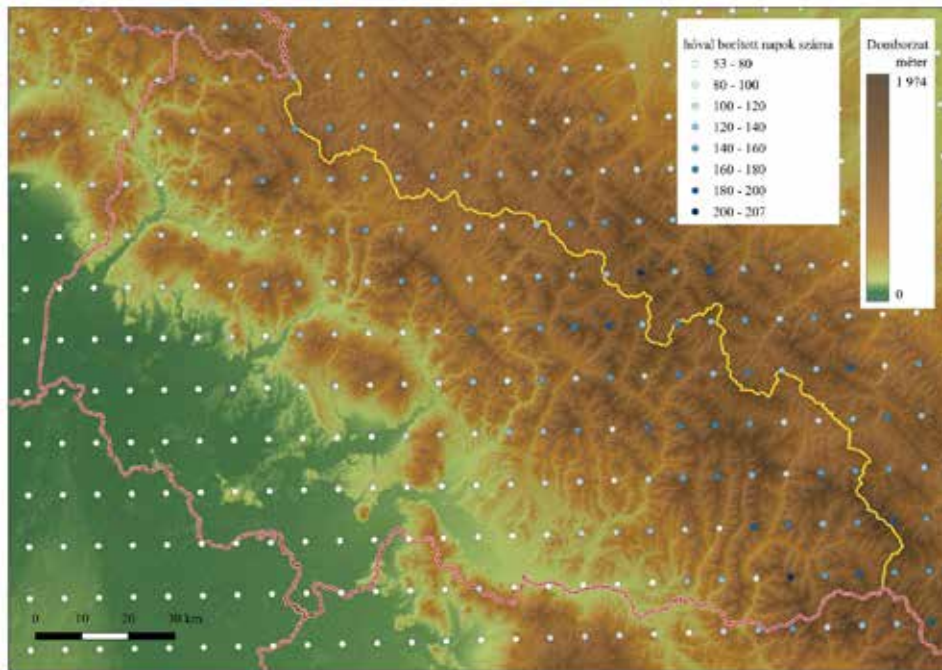
folyamán: a hótakarós napok száma és az átlagos hóvastagság általános csökkenése a 2000 m fölötti állomásoknál nem bizonyult szignifikánsnak, sőt, helyenként enyhe növekedés volt tapasztalható [3; 17].

A hótakaró változása számos következménnyel jár, így az olasz Alpokban kimutatták a hóban tárolt ekvivalens vízmennyiség ebből adódó csökkenését az 1991–2020 közötti időszakban, nemcsak alacsonyabb magasságban, hanem minden vizsgált magassági szinten, bár a szerzők megjegyzik, hogy az értékek erős évtizedes változékonyságot mutatnak [18]. Közvetlen gazdasági következményekkel is számolni kell: sok síparadicsomban már jelentősen rövidült a szezon, helyenként csak hóágyúzással (tehát pótlólagos befektetéssel) lehet biztosítani a népszerű téli sport feltételeit, továbbá a felmelegedéssel összhangban a probléma kiterjedése várható a magasabb térszínre [19; 20]. Azonkívül, a pozitív visszacsatolásos folyamatok eredményeként, a hótakaró csökkenése hozzájárulhat a felmelegedés gyorsulásához is [21].

**Célkitűzés.** Vizsgálataink célja a hótakaró sajátosságainak, illetve azok módosulásának a meghatározása volt Kárpátalja térségében az 1961–2010-es időszak folyamán. Választ kerestünk arra a kérdésre, hogy milyen lineáris trendek jellemezték a térségi hótakaró idősorait, hogyan változott a szezon első és utolsó havas napjának a dátuma.

**Adatbázis és módszerek.** A vizsgált térség kiválasztásánál alapvető szempont volt, hogy Kárpátalja és térsége egyaránt tartalmaz alföldi, hátsági és különböző tengerszint feletti magasságú, illetve eltérő kitettségű területeket, ami lehetővé teszi a hótakaró változásai felszíntől való függésének a feltárását is (1. ábra).

Az adatbázist a CARPATCLIM Kárpát-térségre készült, az 1961–2010-es időszakot lefedő  $0,1 \times 0,1^\circ$  rácsfelbontású klímaadatbázisa szolgált [22; 23; 24]. A projekt célja a Kárpát-régió éghajlatának részletes tér- és időbeli vizsgálata volt harmonizált adatok és egységes módszertan alapján. Az adatbázis egységesítése



1. ábra. A vizsgálatba vont rácpontok elhelyezkedése Kárpátalja térségében (alaptérkép: NASA Open Data Portal 2025)

az Országos Meteorológiai Szolgálat (Magyarország) munkatársai által kifejlesztett adathomogenizálási (MASH) és interpolációs (MISH) eljárásokon alapult.

A MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization) módszer egy statisztikai alapú, referenciaállomásokkal dolgozó homogenizálási eljárás, amelyet éghajlati idősorok hibáinak, töréseinek, inhomogenitásainak feltárására és korrekciójára fejlesztettek ki. A módszer lényege, hogy egy vizsgált meteorológiai állomás adatait több környező, hasonló éghajlati jellegű referenciaállomással hasonlítja össze, majd ezek eltéréseit statisztikai tesztekkel elemzi. A MASH alapfeltételezése szerint egy potenciális törés a vizsgált idősorban akkor valószínű, ha az adott állomás és több referenciaállomás közötti különbségsorokban egyidejű, statisztikailag szignifikáns változás mutatkozik. A végső homogenizált idősor úgy jön létre, hogy a módszer a detektált törésekhez korrekciós tagokat rendel, ezáltal csökkenti a műszer-, költöztetési vagy megfigyelési változásokból eredő torzításokat [25; 26].

A MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized data basis)

módszer egy statisztikai-geosztatikai alapú térbeli interpolációs eljárás, amelyet kifejezetten meteorológiai változók nagyfelbontású térképeinek előállítására fejlesztettek ki. A módszer két fő részből áll: a statisztikai regressziós komponensből és a meteorológiai maradékmező krigeléséből. Az első lépésben a MISH regressziós modellt illeszt a vizsgált változó és egy vagy több magyarázó tényező (pl. tengerszint feletti magasság, domborzati paraméterek) között. Ez a modell meghatározza a térbeli átlagos mintázatot. Ezután a regresszióból származó reziduális mezőt külön krigelési eljárás segítségével interpolálja, amely figyelembe veszi a térbeli autokorreláció szerkezetét. A végső térképi érték a regresszióval becsült háttérmező és a krigeléssel kapott reziduális mező összege [27; 28].

Vizsgálataink során az alábbi kérdésekre kerestük a választ:

– milyen jellegzetességeket mutatott a hótakaró átlagos időtartama Kárpátalján az 1961–2010-es időszak folyamán?

– kimutathatók-e a hóborítás időtartamának idősoraiban szignifikáns lineáris trendek?

– hogyan oszlott el a térségben a hótakaró kialakulásának és elolvadásának átlagos dátuma?

– milyen változások detektálhatók a téli szezon első, illetve utolsó havas napjának dátumában a térségben 1961–2010-ben?

A lineáris trendek realitását a Pearson-féle korrelációs együttható alapján határoztuk meg.

A hótakarós napok száma, valamint a változások mértéke térbeli eloszlásának a valósághű ábrázolásához a regressziós krigelés módszerét alkalmaztuk. Alapul a CARPATCLIM rácsponti reanalízis adatsorait használtunk, azon 465 rácspontét, amelyek lefedték Kárpátalját, egyben az Ukrán-Kárpátok területének nagy részét. Minden rácsponthoz kiszámítottuk az ábrázolni kívánt értéket (például, a hótakarós napok számát), amelyhez a tengerszint feletti magasság mint az eloszlást meghatározó tényező, került hozzárendelésre egy digitális domborzatmodell (DEM) alapján.

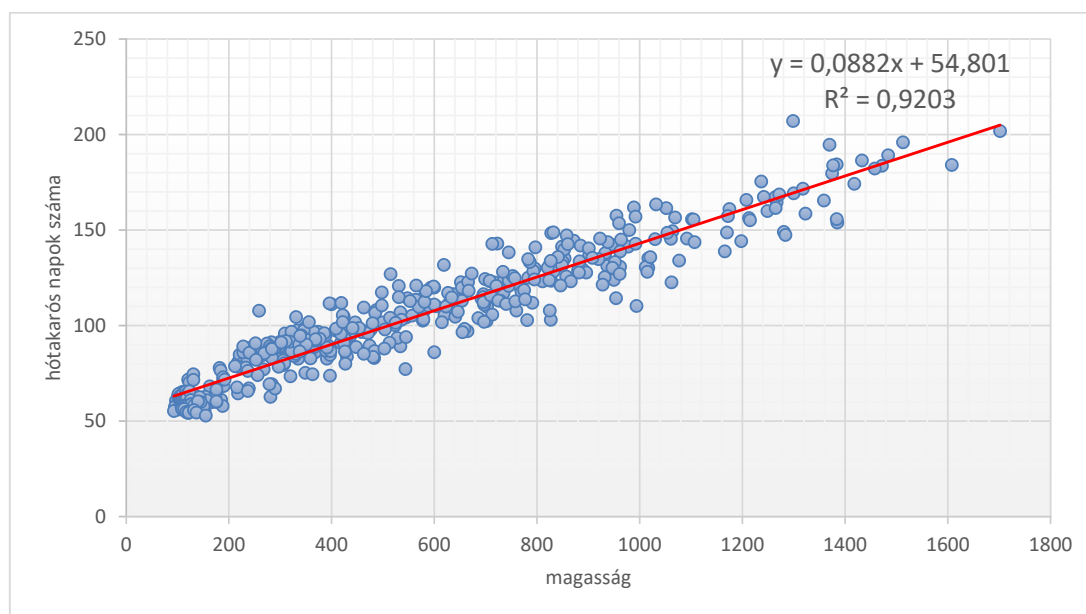
A regressziós krigelés alkalmazása különösen indokolt olyan hegyvidéki területeken, ahol a hóviszonyok erősen függenek a tengerszint feletti magasságtól, ugyanakkor a mérőhálózat ritkább, és a tisztán mérési pontokra épülő interpoláció (például, egyszerű kriging) nem tudja kellő részletességgel és pontossággal visszaadni a térbeli mintázatot. A regressziós krigelés révén a rendelkezésre álló  $0,1 \times 0,1^\circ$  felbontású rácsponti adatok

és a nagyfelbontású domborzati információ együttesen kerültek felhasználásra, ami javította az ábrázolt értékek eloszlásának térbeli becslését. Hasonló eljárások alkalmazásával vizsgálták azt, hogyan javítja a magasság (DEM) bevonása a csapadék interpolációját [29].

Első lépésben azt vizsgáltuk meg, hogy az adataink, például a hóviszonyok, mennyire függenek a tengerszint feletti magasságtól, és így a regressziós krigelés eredményesen alkalmazható-e. Korreláció elemzéssel megvizsgáltuk a hótakarós napok száma és a tengerszint feletti magasság közötti kapcsolatot. A magasság és a hótakarós napok száma kapcsolatát szemléltető pontdiagram szignifikáns, közel lineáris, monoton növekvő trendet mutat: a magasabb térszíneken szisztematikusan nagyobb volt a hótakarós napok száma (2. ábra).

Egyszerű regressziós egyenest illesztettünk, amelyben a hótakarós napok száma függő, a magasság pedig független változóként szerepelt.

Az illesztett modell determinációs együtthatója  $R^2 \approx 0,92$ -nak adódott (ami azt jelenti, hogy a hótakarós napok száma térbeli variációjának mintegy 92%-át egyetlen



**2. ábra. A tengerszint feletti magasság és a hótakarós napok száma közötti kapcsolat (az X tengelyen a rácspontok tengerszint feletti magassága, az Y tengelyen a rácsponti hótakarós napok 1961–2010-es sokéves évi átlagos száma van ábrázolva)**

magyarázó változóként a tengerszint feletti magasság képes megmagyarázni), a Pearson-féle korrelációs együttható pedig  $r \approx 0,96$ -nak, ami rendkívül erős, pozitív összefüggésre utal, tehát a regressziós krigelés indokolt és sikeresen alkalmazható volt ebben az esetben.

A regressziós krigelés alkalmazása egyrészt modellezi a trendet (jelen esetben a magasságfüggést), másrészt a trendből származó maradék térbeli autokorrelációját geostatistikai eszközökkel, krigeléssel írja le. A módszer előnye, hogy a DEM segítségével olyan nagyfelbontású raszteres térkép nyerhető a hótakarós napok számára, amely egyszerre tükrözi a magasság domináns hatását és a rácsponti adatok által megjelentett helyi mintázatokat.

Digitális domborzatmodellként a Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1'' (azaz nagyjából 30 m-es) rácselfelbontású Global adatkészletet alkalmaztuk, amelyet a U.S. Geological Survey által üzemeltetett USGS EarthExplorer portálról [30] töltöttünk le Kárpátalja térségére. A magasságértékek a WGS84 ellipszoidhoz viszonyított EGM96 geoidra vonatkoznak [31].

A Kárpátalja térségét lefedő SRTM felvételeket ( $1 \times 1^\circ$ -os lapokat) GeoTIFF formátumban letöltöttük, majd QGIS-ban mozaikoltuk, a vizsgálati terület határára vágtuk, és egységes, méter alapú vetületi rendszerbe (WGS84/UTM) transzformáltuk az ezt követő térbeli elemzésekhez. A kapott digitális domborzatmodellt egyrészt háttér-információként használtuk a vizsgált hegyvidéki térség morfológiájának bemutatására, másrészt a tengerszint feletti magasságból származó rácsponti értékeket külső magyarázó változóként vontuk be a regressziós krigelésbe.

A regressziós krigelést a QGIS-ből elérhető SAGA „Regression Kriging” modul segítségével valósítottuk meg. A módszerben a hótakarós napok száma volt a célváltozó, a DEM-pixelek magasságértékei pedig magyarázó változóként szerepeltek. A modell két komponensből épült fel:

1. A hótakarós napok számát lineáris regresszióval fejeztük ki a magasság

függvényében, így minden DEM-pixelre kiszámíthatóvá vált egy előrejelzett érték pusztán a magasság alapján.

2. A regressziós maradékokra (reziduálisokra) illesztett variogram-modellek segítségével kriging interpolációt végeztünk, amely figyelembe veszi a reziduálisok térbeli autokorrelációját. A módszer a közeli pontok maradékértékeinek súlyozott átlagát rendeli minden rácspontba, a variogram alapján meghatározott optimális súlyokkal.

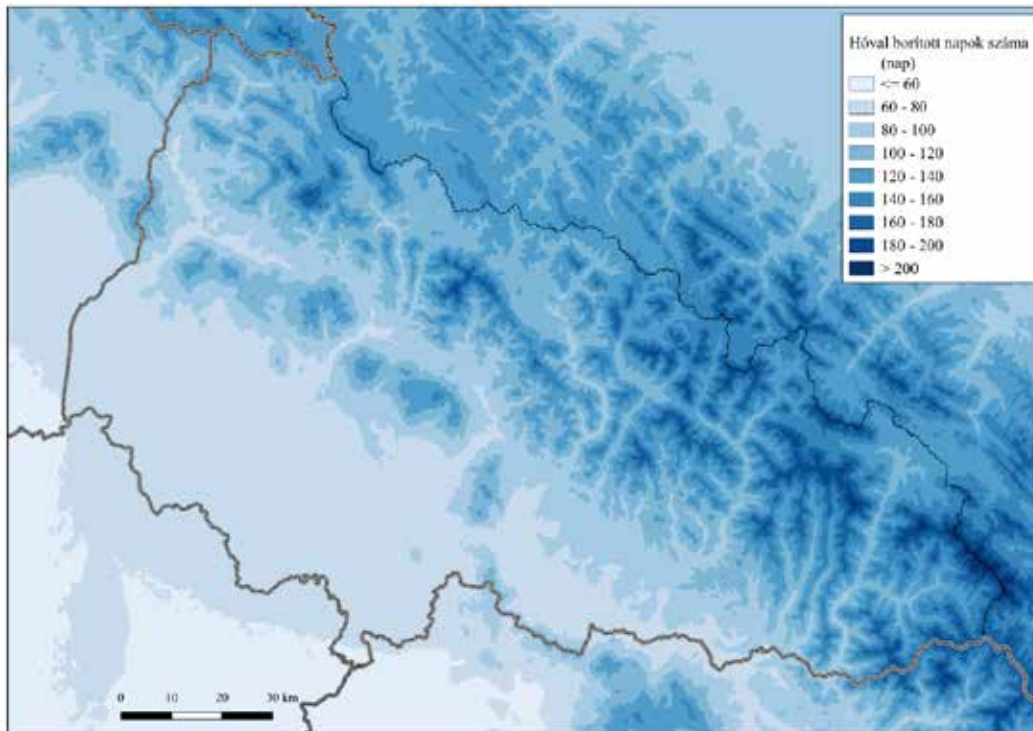
A regressziós krigelés végső eredménye a két komponens összege: a DEM-en alapuló, magasságfüggő regressziós becslés, valamint a krigelt maradék térképe. Ez a kombináció lehetővé teszi, hogy a modell egyszerre legyen fizikailag értelmezhető (a magasabb térszíneken több hótakarós nap várható) és lokálisan adaptív (a mérési adatokból származó helyi eltérések is megjelennek (3. ábra).

**Eredmények.** Amint a vizsgálati módszerek leírásánál is említettük, a hótakaró tartóssága Kárpátalja térségében meghatározó mértékben függ a tengerszint fölötti magasságtól. Az elemzett 1961–2010-es időszakban a hóborítás évi átlagos időtartama legrövidebbnek az Alföld Kárpátaljától délnyugatra eső szomszédos területein bizonyult, a 60 napot sem érve el (3. ábra). A vizsgált megye alföldi részén évi 60–70 napig volt fehér a táj, a hegylábaknál már érzékelhető volt az emelkedés, évi átlagban 80 napig borította hó a felszínt.

A magasság növekedésével 100 méterenként közel 10 nappal (2. ábra) hosszabbodott a hótakaró tartóssága, az 1400 m fölötti térszíneken elérve a 180–200 napot. A Kárpátok északkeleti előterében hosszabb ideig (80–100 napig) maradt meg a hótakaró, amit a nagyobb tengerszint fölötti magasságon és a Kárpátok védőhatásának a hiányán kívül a makroexpozíció is indokol.

Hogyan változott a hótakarós napok száma 1961–2010 folyamán?

A globális felmelegedés, illetve annak azt is meghaladó lokális jelentkezése alapján [32]. megalapozottnak tűnt a hótakaró tartósságának a csökkenését feltételezni. A várakozásnak megfelelően az idősorok lineáris trendjeinek



**3. ábra. A hótakarós napok átlagos évi számának eloszlása az 1961–2010-es időszakban Kárpátalja térségében**

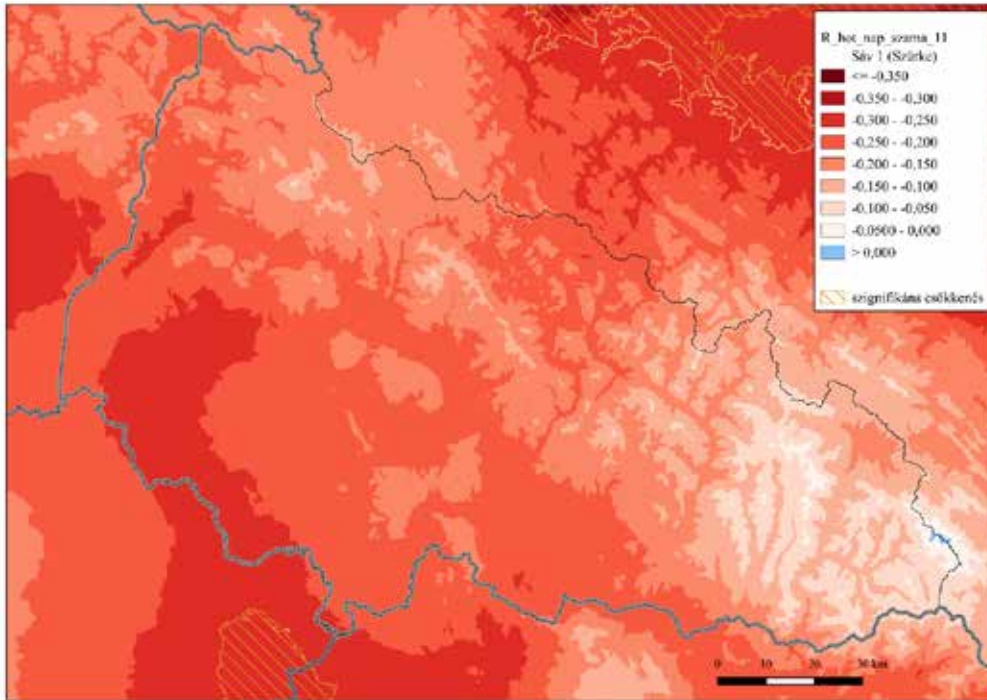
a korrelációs együtthatói zömmel a negatív tartományba estek (4. ábra). Azonban a korreláció Kárpátalja területén sehol sem bizonyult szignifikánsnak: a hótakarós napok száma leginkább a Kárpátmelléken, valamint a megyétől délnyugatra, a magyar–román határ térségében csökkent jelzésértékűen.

Kárpátalja keleti részén viszont, kiemelten a Rahói járás magasabban fekvő térszínein, a hótakaró tartóssága az 50 év alatt gyakorlatilag nem változott, sőt, helyenként némileg nőtt is. Ez összecseng más vizsgálatok eredményeivel, amelyek a hegyvidékeken szintén kisebb csökkenést, esetenként növekedést tapasztaltak a hóborításban [5; 15; 16; 3; 17]. A magyarázat az lehet, hogy a hótakaró tartósságát nem csak a hőmérséklet befolyásolja, hanem a téli hónapok csapadékmennyisége is. A jócskán 0 °C alatti téli középhőmérsékletű magasabb hegyvidékeken az egyelőre mérsékelt hőmérséklet-emelkedés nem okozott jelentősebb hóolvadást, és tudott érvényesülni a magasabb hőmérsékletekkel összefüggő, hó formájában jelentkező csapadéktöbblet hótakarót növelő hatása [5].

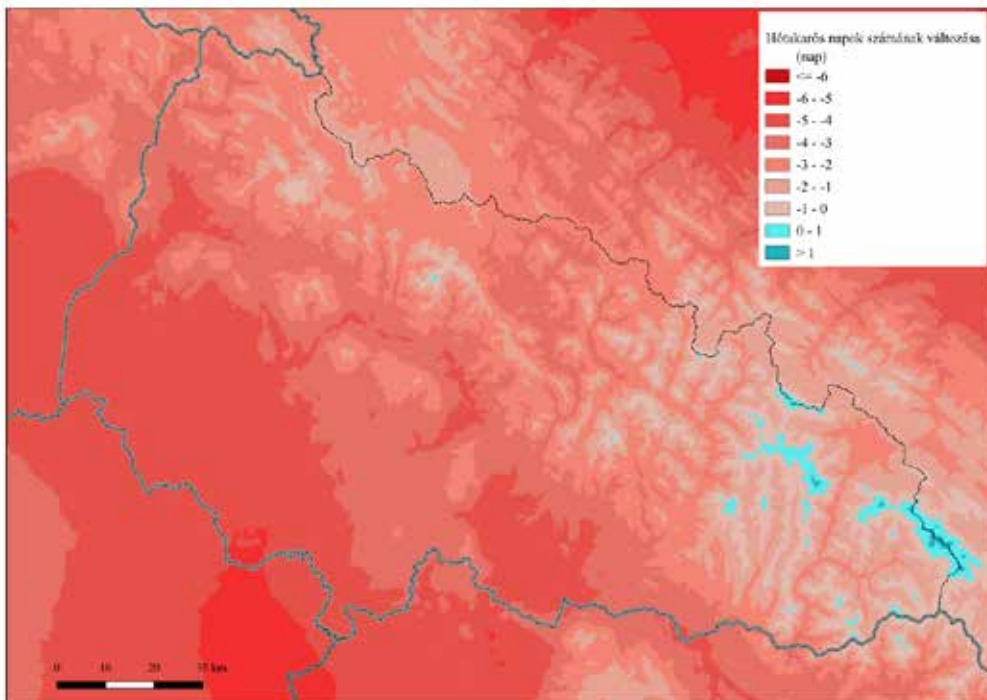
A változások átlagos üteme az utóbbi területeken 1 nap/évtized alatt maradt. Különösen szembetűnő, hogy a térségben a legnagyobb csökkenést a hóborításban nemsokkal északabbra, a Kárpátmelléken detektáltuk, ahol az 1961–2010-es időszakra vonatkozóan átlagosan 6 napot csökkent a hótakarós napok száma évtizedenként (5. ábra). Kárpátalja alföldi részén, ha nem is szignifikáns, de szintén jelentős volt a csökkenés: a 4–5 nap/évtizedes érték azt jelentette, hogy az 1960-as évek 70 napot meghaladó átlagához képest a harmadik évezred elején csupán 50 nap körül borította hó a felszín évi átlagban.

Vajon a hótakaró kialakulásának vagy az elolvadásának az átlagos naptári időpontja változott-e jobban?

A térség változatos domborzata, a tengerszint fölötti magasságok jelentős különbségei számottevő eltéréseket eredményeztek a hótakaró első megjelenésének a dátumában is. Kárpátalja alföldi részén a vizsgált időszak átlagában november végén alakult ki az első hótakaró (6. ábra). November 21-ét követő dátumok jellemezték a Máramarosi-



4. ábra. A hómentes napok átlagos évi száma 1961–2010-es időszaki lineáris trendjei korrelációs együtthatóinak (R) az eloszlása Kárpátalja térségében. A korrelációs együttható szignifikáns értékeinek a területeit vonalazással jelöltük



5. ábra. A hómentes napok évi számának átlagos változása a 1961–2010-es időszak alatt Kárpátalja térségében (nap/évtized)

medencét és az alacsonyabban fekvő, széles folyóvölgyeket (Turja-völgy, Borzsa-völgy) is. A magassággal az első hómentes dátuma 300 méterenként átlagosan 10 nappal került

előbbre. A legmagasabb gerinceken ennek megfelelően többnyire már szeptember folyamán kialakult hómentes, bár ez többnyire még nem bizonyult tartósnak. A Kárpátmellék

hátságain átlagosan november 11–20-án borult először fehérbe a táj.

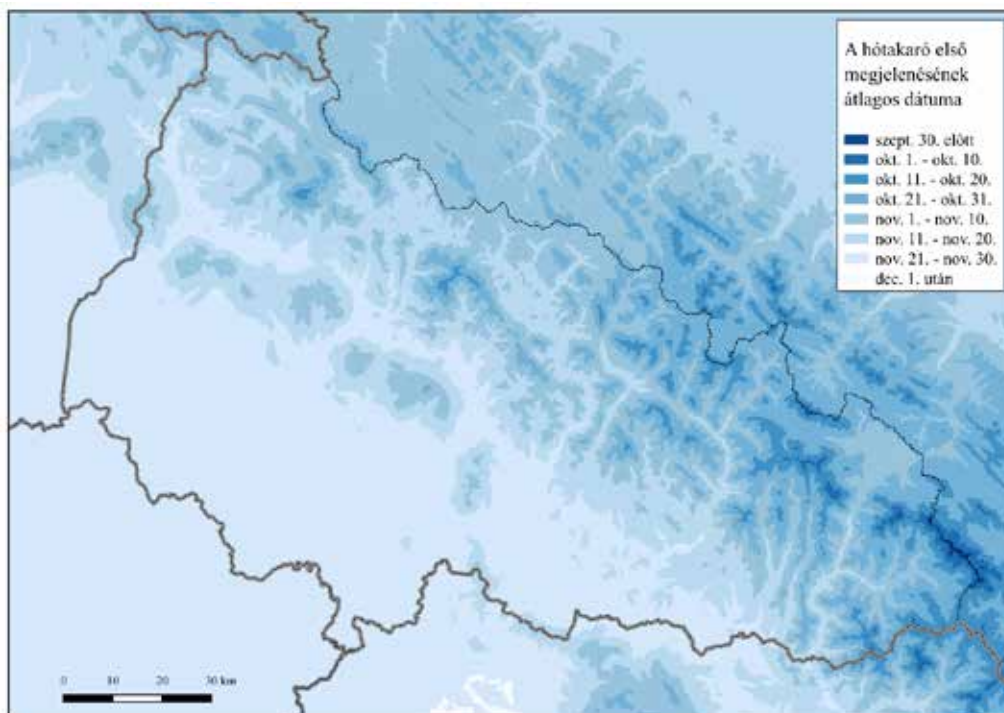
A legismertebb sítelepek közül az Ungvölgyi Krasziján (500–1000 m) november 1–15-én, a Körösmező fölötti Drahozáton (1300–1700 m) október 11–20-án, a Tatár-hágó melletti Bukovelen (900–1300 m) október 21–31-én hullt le az első hólepel 1961–2010-ben.

A lineáris trendelemzés az első hótakaró dátumának a változásában a térség nagy részén nem detektált szignifikáns változásokat (négy elszigetelt mérőpont képezett csupán kivételt a megye déli–délkeleti részén, ahol a dátum szignifikánsan előbbre került). A mind globálisan, mind lokálisan jelentkező általános felmelegedés tükrében meglepő módon, Kárpátalja térségének nagyobb, főleg déli részén az első hótakaró dátuma 1961–2010 folyamán – ha nem is szignifikáns mértékben – némileg előbbre került, tehát korábban következett be olyan havazás, amely többé-kevésbé maradandó hótakarót eredményezett (7. ábra). Kárpátalja északi részén és a Kárpátmelléken az első hótakaró dátuma a várakozásnak megfelelően némileg

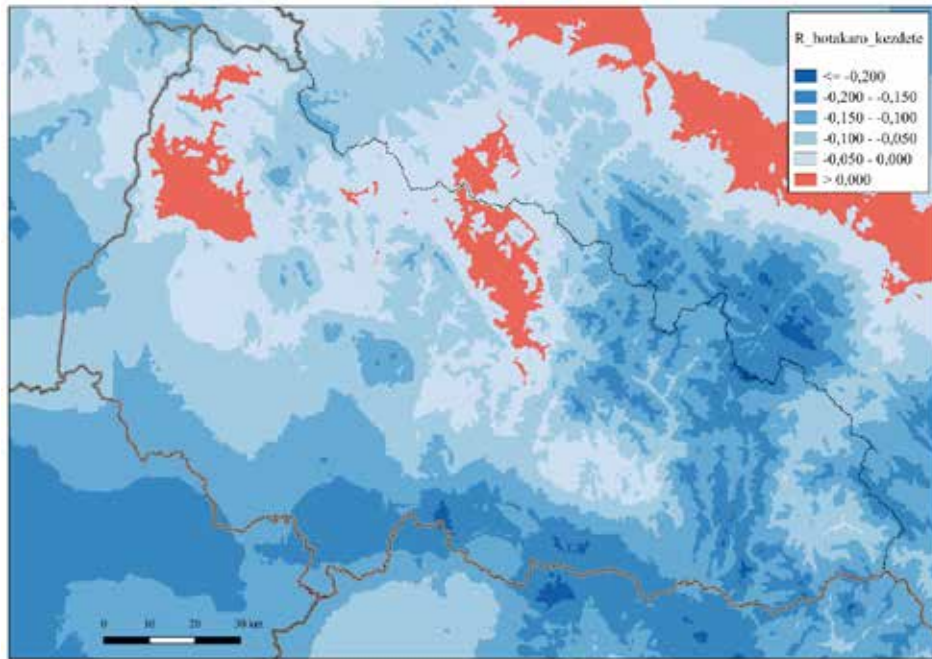
későbbre tolódott, de a változás a vizsgált 50 év alatt itt sem volt szignifikáns.

Az első hótakaró leginkább a Máramarosi-medence peremhegyvidékein (kiemelten a Gorgánokban) került korábbra, helyenként közel 2 nap/évtizeddel (8. ábra), bár – mint fentebb jeleztük – többnyire ezek a változások sem bizonyultak 95%-os valószínűségi szinten szignifikánsnak. A Kárpátaljai-alföldön minimális mértékben, átlagban közel 1 nap/évtizeddel érkezett korábban az 50 év alatt a hótakaró. A megye nagyobb részén viszont a változások 1 nap/évtized alatt maradtak, tehát az első hótakaró dátuma 1961–2010 folyamán gyakorlatilag nem változott.

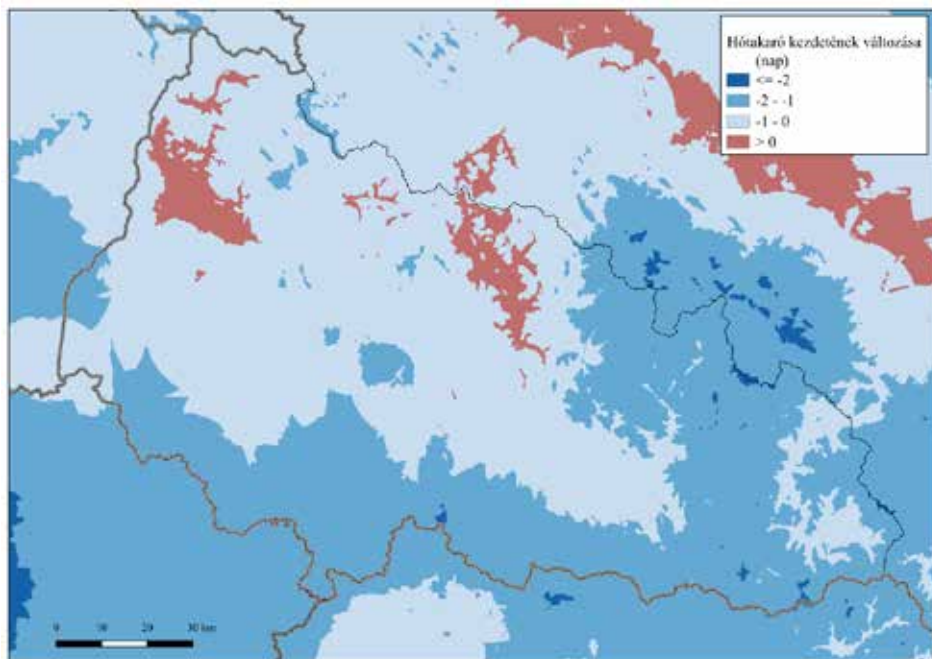
Az utolsó hótakarós nap Kárpátalja alföldi részén a vizsgált időszakban általában március 1-e és 10-e közé esett (9. ábra). Az Alföld ettől délnyugatra eső részén ez a dátum február végére csúszott, északkelet felé pedig a tengerszint fölötti magasság (átlagosan 5 nappal 100 méterenként) és a kitettség függvényében került későbbre. A legmagasabb gerincek északias kitettségű lejtőin júniusig megmaradt a hótakaró, a mélyedésekben összegyűlt vastag hóréteg



6. ábra. A hótakaró első megjelenésének átlagos dátuma az 1961–2010-es időszakban Kárpátalja térségében



7. ábra. Az első hótakarós nap átlagos dátumainak 1961–2010-es idősorai lineáris trendjei korrelációs együtthatóinak (R) az eloszlása Kárpátalja térségében. A negatív korreláció a dátumok előrébb kerülését jelzi



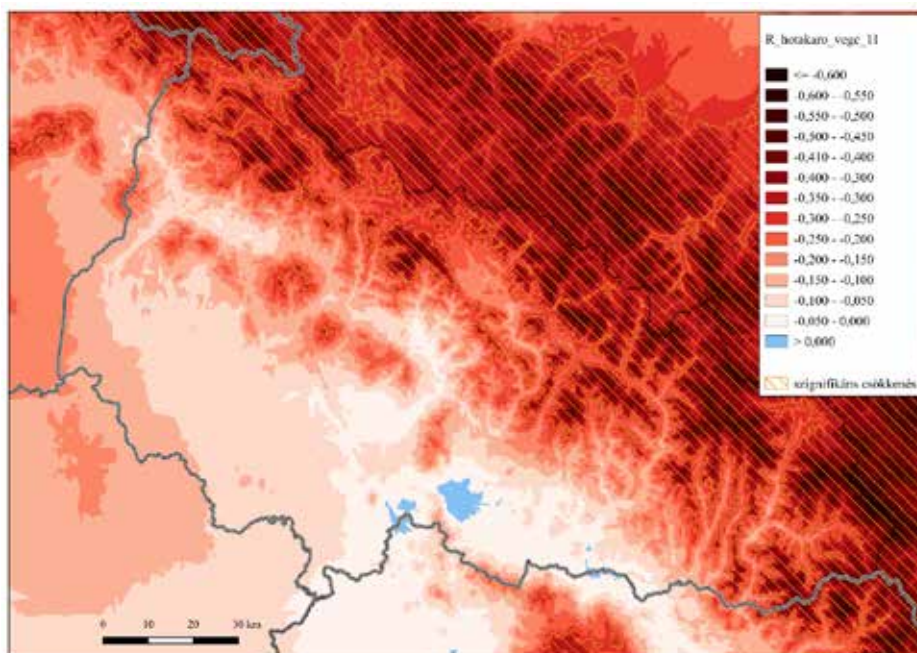
8. ábra. Az első hótakarós nap dátumának átlagos változása a 1961–2010-es időszak alatt Kárpátalja térségében (nap/évtized)

pedig firnfoltok formájában néha az augusztust is megérte (szóbeli közlés alapján, korábban előfordult, hogy egyes firnfoltok átnyaraltak). A Kárpátmellék hátságain március 20-a körül tűnt el az összefüggő hótakaró.

Az ismertebb sípályák közül az Ung-völgyi Krasziján (500–1000 m) március 20-a és április

10-e között, a Körösmező fölötti Drahobráton (1300–1700 m) május elején, a Tatár-hágó melletti Bukovelen (900–1300 m) április 10–20-án olvadt el a hó 1961–2010-ben.

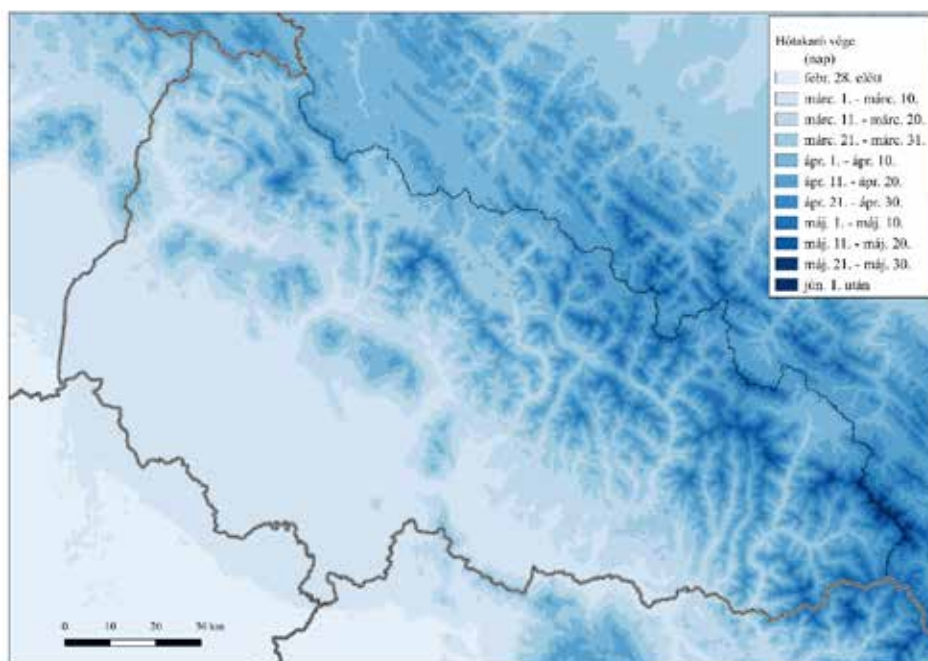
Az utolsó hótakarós napok dátumának a változása Kárpátalja térségében sokkal markánsabbnak bizonyult, mint az első hóé,



9. ábra. A hótakaró végleges eltűnésének (az utolsó havas nap) átlagos dátuma az 1961–2010-es időszakban Kárpátalja térségében

a Kárpátok magasabb térszínein, illetve az északkeleti makroexpozíciójú lejtőin szinte mindenütt szignifikáns volt 95%-os valószínűségi szinten (10. ábra). Az R értéke a Máramarosi-havasok magasabb részein

elérte a 0,5-et, a Máramarosi-medencében viszont 0 közelébe süllyedt. Nem bizonyult szignifikánsnak a hótakaró elolvadása dátumának a korábbra kerülése az alföldi részeken sem.



10. ábra. Az utolsó hótakarós nap átlagos dátumainak 1961–2010-es idősorai lineáris trendjei korrelációs együtthatóinak (R) az eloszlása Kárpátalja térségében. A negatív korreláció a dátumok előrébb kerülését jelzi. A korrelációs együttható szignifikáns értékeinek a területeit vonalazással jelöltük

A hótakaró elolvadásának átlagos dátuma nem csak nagyobb területen mutatott szignifikáns változást, mint az első hó megjelenésének a dátuma, de jelentősebbnek bizonyult annak mértéke is. A vizsgált 50 éves időszak alatt a magasabb hegyvidékeken, elsősorban a Máramarosi-havasokban, átlagban 7 nap/évtizedes ütemben került korábbra a tavaszi hóolvadás dátuma, ami a teljes időszakra vonatkozóan közel 1 hónappal korábbi időpontot eredményezett.

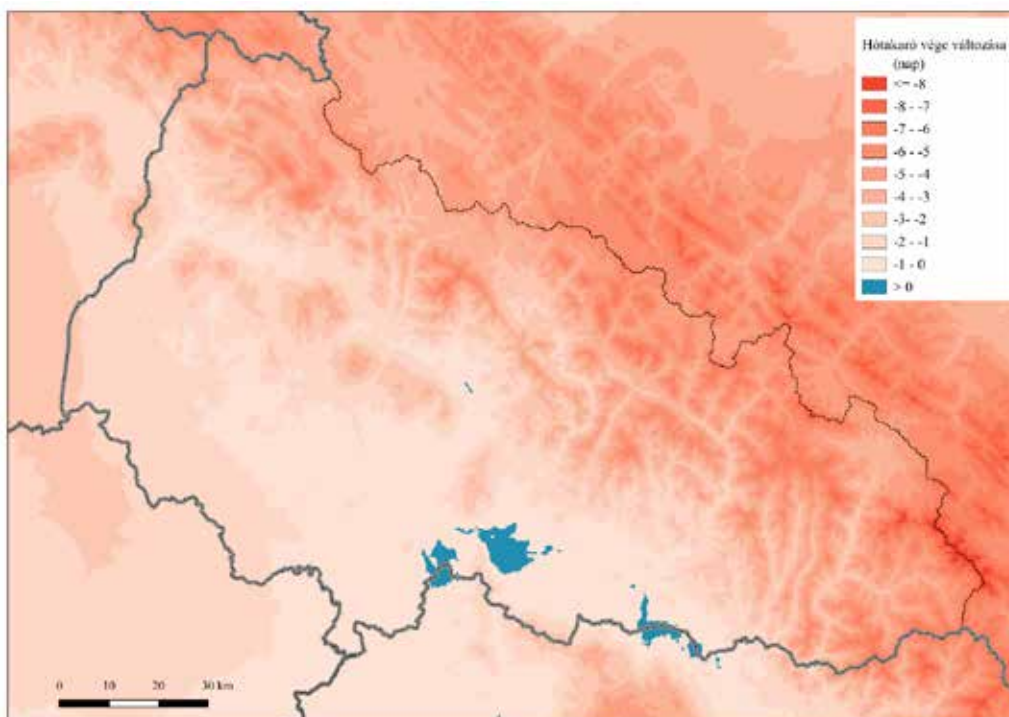
A Máramarosi-medencében ugyanakkor 1961–2010 folyamán számottevően nem változott a tavaszi hóolvadás átlagos dátuma (11. ábra). Az Alföld Kárpátaljára eső részén kelet–nyugati irányban fokozatosan növekedett a változások mértéke, az ukrán–szlovák határnál évtizedenként közel 2 nappal került előbbre a hótakaró eltűnésének a dátuma. A hegyvidéki részen a megye nyugati részén is jelentősebb változások történtek, a magasabb gerinceken kb. 5 nap/évtizedes ütemben változott a hóolvadás időpontja. A Kárpátmellék hóolvadási dátumai a vizsgált 50 év alatt a Kárpátaljai-alföldnél nagyobb mértékben, átlagosan 2–3 nap/évtizeddel kerültek korábbra.

Az ismertebb sípályák közül az Ung-völgyi Kraszuján (500–1000 m) az 1960-as években március 27–április 20-ára esett a hótakaró vége, míg a 2000-esekben ez március 8–április 1-re került. A Körösmező fölötti Drahozáton (1300–1700 m) az 1960-as években május 3–május 22-én, a 2000-esekben április 11–30-án ért véget a síszezon a természetes hótakarós pályákon, a Bukovelen (900–1300 m) pedig ez idő alatt április 14–május 1-ről március 20–április 6-ra módosultak a dátumok.

A hótakaró változásait a globális felmelegedés következtében figyelembe kell venni a gazdasági tervezésben, például a síturizmus fejlesztése során. Az eredmények jó alapot biztosítanak a további elemzésekhez, többek között a hótakaró vastagságának a vizsgálatához, illetve a kutatások kiterjesztéséhez térben és időben.

**Következtetések.** Vizsgálataink alapján az alábbi fő következtetésekre jutottunk:

– Ahótakaró tartóssága Kárpátalja térségében elsősorban a tengerszint fölötti magasság, másodsorban a lejtőkiettség függvényében változott, az 1961–2010-es időszak átlagában 53 és 207 nap között.



11. ábra. Az utolsó hótakarós nap dátumának átlagos változása a 1961–2010-es időszak alatt Kárpátalja térségében (nap/évtized)

– A vizsgált időszak alatt Kárpátalja nagy részén (a legmagasabb gerinceket kivéve) csökkent a hótakarós napok száma. Bár a változás 95%-os valószínűségi szinten nem bizonyult szignifikánsnak, az alföldi részen az üteme elérte a 4–5 nap/évtizedet.

– Az első őszi hótakaró kialakulásának a dátuma „nem vett tudomást” a globális, illetve térségi felmelegedésről, ugyanis a vizsgált évtizedek során a megye nagy részén gyakorlatilag nem változott, sőt, a déli és keleti

részeken még évtizedenként egy-két nappal korábbra is került.

– Jelentősen változott viszont a tavaszi hóolvadás átlagos dátuma, főleg a hegyvidékeken, ahol átlagosan 5–7 nap/évtizeddel került korábbra.

– A hótakaró tartósságában bekövetkezett változások nem csak további bizonyítékai a melegedő éghajlatnak, de jelentős hatással vannak az emberi tevékenységre, így a térségben számottevő síturizmusra is.

### Irodalom

1. IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. (eds.). Cambridge; New York : Cambridge University Press, 2007.
2. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team ; H. Lee, J. Romero (eds.). Geneva : IPCC, 2023. 184 p. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
3. Olefs M., Koch R., Schöner W., Marke T. Changes in snow depth, snow cover duration, and potential snowmaking conditions in Austria, 1961–2020 – a model based approach. *Atmosphere*. 2020. Vol. 11. No. 12. Art. 1330. DOI: 10.3390/atmos11121330
4. Cohen J., Rind D. The effect of snow cover on the climate. *Journal of Climate*. 1991. Vol. 4. P. 689–706. DOI: 10.1175/1520-0442(1991)004<0689:TEOSCO>2.0.CO;2
5. Dyrddal A.V., Saloranta T., Skaugen T.T., Stranden H.B. Changes in snow depth in Norway during the period 1961–2010. *Hydrology Research*. 2013. Vol. 44. No. 1. P. 169–179. DOI: 10.2166/nh.2012.064
6. Eythorsson D., Gardarsson S.M., Ahmad S.K., Sveinsson O.G.B. Climate change and snow cover trends in Iceland. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2019. P. 1–17. DOI: 10.5194/hess-2019-564
7. Chen X., Liang S., Cao Y. Satellite observed changes in the Northern Hemisphere snow cover phenology and the associated radiative forcing and feedback between 1982 and 2013. *Environmental Research Letters*. 2016. Vol. 11. Art. 084002. DOI: 10.1088/1748-9326/11/8/084002
8. Connolly R., Connolly M., Soon W. et al. Northern hemisphere snow-cover trends (1967–2018): a comparison between climate models and observations. *Geosciences*. 2019. Vol. 9. Art. 135. DOI: 10.3390/geosciences9030135
9. Fontrodona Bach A., van der Schrier G., Melsen L.A. et al. Widespread and accelerated decrease of observed mean and extreme snow depth over Europe. *Geophysical Research Letters*. 2018. Vol. 45. P. 12 312–12 319. DOI: 10.1029/2018GL079799
10. Szwed M., Pińskwar I., Kundzewicz Z.W., Graczyk D., Mezghani A. Changes of snow cover in Poland. *Acta Geophysica*. 2017. Vol. 65. P. 65–76. DOI: 10.1007/s11600-017-0007-z
11. Vyshnevskiy V.I. Climate change in Ukraine and its consequences. *Journal of Landscape Ecology*. 2025. Vol. 18. No. 4. P. 150–174. DOI: 10.2478/jlecol-2025-0032
12. Szyga-Pluta K. Changes in snow cover occurrence and the atmospheric circulation impact in Poznan (Poland). *Theoretical and Applied Climatology*. 2022. Vol. 147. P. 925–940. DOI: 10.1007/s00704-021-03875-8
13. Notarnicola C. Hotspots of snow cover changes in global mountain regions over 2000–2018. *Remote Sensing of Environment*. 2020. Vol. 243. Art. 111781. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111781
14. Cheval S., Birsan M.-V., Dumitrescu A. Climate variability in the Carpathian Mountains Region over 1961–2010. *Global and Planetary Change*. 2014. Vol. 118. P. 85–96. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2014.04.005
15. Vyshnevskiy V.I., Donich O.A. Climate change in the Ukrainian Carpathians and its possible impact on river runoff. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2021. Vol. 22. No. 1. P. 3–14. DOI: 10.31577/ahs-2021-0022.01.0001
16. Vyshnevskiy V.I., Donich O.A. Snow cover in the Ukrainian Carpathians. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2021. Vol. 22. No. 2. P. 284–293. DOI: 10.31577/ahs-2021-0022.02.0032
17. Amihaesei V.-A., Micu D.-M., Cheval S. et al. Changes in snow cover climatology and its elevation dependency over Romania (1961–2020). *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2024. Art. 101637. DOI: 10.1016/j.ejrh.2023.101637

18. Colombo N., Valt M., Romano E. et al. Long-term trend of snow water equivalent in the Italian Alps. *Journal of Hydrology*. 2022. Vol. 614. Art. 128532. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128532
19. Elsasser H., Messerli P. The vulnerability of the snow industry in the Swiss Alps. *Mountain Research and Development*. 2001. Vol. 21. No. 4. P. 335–339. DOI: 10.1659/0276
20. Durand Y., Giraud G., Laternser M. et al. Reanalysis of 47 years of climate in the French Alps (1958–2005): climatology and trends for snow cover. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2009. Vol. 48. P. 2487–2512. DOI: 10.1175/2009JAMC1810.1
21. Peng S., Piao S., Ciais P. et al. Change in snow phenology and its potential feedback to temperature in the Northern Hemisphere over the last three decades. *Environmental Research Letters*. 2013. Vol. 8. Art. 014008. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/014008
22. CARPATCLIM adatbázis © Európai Bizottság – JRC. 2013.
23. Szalai S., Auer I., Hiebl J. et al. Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report. 2013. URL: [www.carpatclim-eu.org](http://www.carpatclim-eu.org)
24. Spinoni J., Szalai S., Szentimrey T. et al. Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology*. 2015. Vol. 35. No. 7. P. 1322–1341. DOI: 10.1002/joc.4059
25. Szentimrey T. Multiple analysis of series for homogenization (MASH). Fourth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases. WMO/TD No. 962. 1999.
26. Szentimrey T. Applications of homogenization methods for climate data. *Időjárás*. 2008. Vol. 112. No. 1. P. 1–12.
27. Szentimrey T., Bihari Z. Mathematical background of the MISH interpolation method. COST Action 719 Final Report. European Meteorological Services Network, 2007.
28. Bihari Z., Bartholy J., Pongrácz R., Szentimrey T. Development of a meteorological interpolation model based on surface homogenized data basis (MISH). *Időjárás*. 2007. Vol. 111. No. 1. P. 1–20.
29. Feki H., Slimani M., Cudenneq C. Incorporating elevation in rainfall interpolation in Tunisia using geostatistical methods. *Hydrological Sciences Journal*. 2012. Vol. 57. No. 7. P. 1294–1314. DOI: 10.1080/02626667.2012.710334
30. EarthExplorer (USGS). URL: [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov) (Last accessed: 02.12.2025).
31. NASA Open Data Portal. Shuttle Radar Topography Mission 1-arc second Global. 2025. URL: [data.nasa.gov](http://data.nasa.gov) (Last accessed: 02.12.2025).
32. Molnár J., Kovács A. A léghőmérséklet módosulása a Kárpát-medencében az 1981–2020-as időszak során. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica et Recreatio*. 2025. No. 1. P. 37–48. DOI: 10.32782/2786-5843/2025-1-4

## References

1. IPCC. (2007). *Summary for Policymakers*. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
2. IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
3. Olefs, M., Koch, R., Schöner, W., & Marke, T. (2020). Changes in snow depth, snow cover duration, and potential snowmaking conditions in Austria, 1961–2020 – a model based approach. *Atmosphere*, 11 (12), Article 1330. <https://doi.org/10.3390/atmos11121330>
4. Cohen, J., & Rind, D. (1991). The effect of snow cover on the climate. *Journal of Climate*, 4, 689–706. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1991\)004<0689:TEOSCO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1991)004<0689:TEOSCO>2.0.CO;2)
5. Dyrddal, A.V., Saloranta, T., Skaugen, T.T., & Strandén, H.B. (2013). Changes in snow depth in Norway during the period 1961–2010. *Hydrology Research*, 44 (1), 169–179. <https://doi.org/10.2166/nh.2012.064>
6. Eythorsson, D., Gardarsson, S.M., Ahmad, S.K., & Sveinsson, O.G.B. (2019). Climate change and snow cover trends in Iceland. *Hydrology and Earth System Sciences*, 1–17. <https://doi.org/10.5194/hess-2019-564>
7. Chen, X., Liang, S., & Cao, Y. (2016). Satellite observed changes in the Northern Hemisphere snow cover phenology and the associated radiative forcing and feedback between 1982 and 2013. *Environmental Research Letters*, 11, Article 084002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/8/084002>
8. Connolly, R., Connolly, M., Soon, W., et al. (2019). Northern hemisphere snow-cover trends (1967–2018): A comparison between climate models and observations. *Geosciences*, 9, Article 135. <https://doi.org/10.3390/geosciences9030135>
9. Fontrodona Bach, A., van der Schrier, G., Melsen, L.A., et al. (2018). Widespread and accelerated decrease of observed mean and extreme snow depth over Europe. *Geophysical Research Letters*, 45, 12312–12319. <https://doi.org/10.1029/2018GL079799>

10. Szwed, M., Pińskwar, I., Kundzewicz, Z.W., Graczyk, D., & Mezghani, A. (2017). Changes of snow cover in Poland. *Acta Geophysica*, 65, 65–76. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0007-z>
11. Vyshnevskiy, V.I. (2025). Climate change in Ukraine and its consequences. *Journal of Landscape Ecology*, 18 (4), 150–174. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2025-0032>
12. Szyga-Pluta, K. (2022). Changes in snow cover occurrence and the atmospheric circulation impact in Poznań (Poland). *Theoretical and Applied Climatology*, 147, 925–940. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03875-8>
13. Notarnicola, C. (2020). Hotspots of snow cover changes in global mountain regions over 2000–2018. *Remote Sensing of Environment*, 243, Article 111781. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111781>
14. Cheval, S., Birsan, M.-V., & Dumitrescu, A. (2014). Climate variability in the Carpathian Mountains Region over 1961–2010. *Global and Planetary Change*, 118, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.04.005>
15. Vyshnevskiy, V.I., & Donich, O.A. (2021). Climate change in the Ukrainian Carpathians and its possible impact on river runoff. *Acta Hydrologica Slovaca*, 22 (1), 3–14. <https://doi.org/10.31577/ahs-2021-0022.01.0001>
16. Vyshnevskiy, V.I., & Donich, O.A. (2021). Snow cover in the Ukrainian Carpathians. *Acta Hydrologica Slovaca*, 22 (2), 284–293. <https://doi.org/10.31577/ahs-2021-0022.02.0032>
17. Amihaesei, V.-A., Micu, D.-M., Cheval, S., et al. (2024). Changes in snow cover climatology and its elevation dependency over Romania (1961–2020). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Article 101637. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101637>
18. Colombo, N., Valt, M., Romano, E., et al. (2022). Long-term trend of snow water equivalent in the Italian Alps. *Journal of Hydrology*, 614, Article 128532. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128532>
19. Elsasser, H., & Messerli, P. (2001). The vulnerability of the snow industry in the Swiss Alps. *Mountain Research and Development*, 21 (4), 335–339. <https://doi.org/10.1659/0276>
20. Durand, Y., Giraud, G., Laternser, M., et al. (2009). Reanalysis of 47 years of climate in the French Alps (1958–2005): Climatology and trends for snow cover. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48, 2487–2512. <https://doi.org/10.1175/2009JAMC1810.1>
21. Peng, S., Piao, S., Ciais, P., et al. (2013). Change in snow phenology and its potential feedback to temperature in the Northern Hemisphere over the last three decades. *Environmental Research Letters*, 8, Article 014008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/014008>
22. CARPATCLIM adatbázis © Európai Bizottság – JRC [CARPATCLIM database]. (2013). [in Hungarian].
23. Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., et al. (2013). *Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report*. Retrieved from: <http://www.carpatclim-eu.org>
24. Spinoni, J., Szalai, S., Szentimrey, T., et al. (2015). Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: Climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology*, 35 (7), 1322–1341. <https://doi.org/10.1002/joc.4059>
25. Szentimrey, T. (1999). *Multiple analysis of series for homogenization (MASH)*. Fourth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases. WMO/TD No. 962.
26. Szentimrey, T. (2008). Applications of homogenization methods for climate data. *Időjárás – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 112 (1), 1–12.
27. Szentimrey, T., & Bihari, Z. (2007). *Mathematical background of the MISH interpolation method*. COST Action 719 Final Report. European Meteorological Services Network.
28. Bihari, Z., Bartholy, J., Pongrácz, R., & Szentimrey, T. (2007). Development of a meteorological interpolation model based on surface homogenized data basis (MISH). *Időjárás – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 111(1), 1–20.
29. Feki, H., Slimani, M., & Cudennec, C. (2012). Incorporating elevation in rainfall interpolation in Tunisia using geostatistical methods. *Hydrological Sciences Journal*, 57 (7), 1294–1314. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.710334>
30. EarthExplorer (USGS). (2025). Retrieved from: <https://earthexplorer.usgs.gov> (Last accessed: December 2, 2025).
31. NASA Open Data Portal (2025). *Shuttle Radar Topography Mission 1-arc second Global*. Retrieved from: <https://data.nasa.gov> (Last accessed: December 2, 2025).
32. Molnár, J., & Kovács, A. (2025). A léghőmérséklet módosulása a Kárpát-medencében az 1981–2020-as időszak során [Changes in air temperature in the Carpathian Basin during 1981–2020]. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica et Recreatio – Geography and Recreation*, (1), 37–48. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2025-1-4>

