

Az időjárás-változások hatása a talaj hőmérsékletének alakulására

JENEY CSABA

Agrártudományi Egyetem, Gödöllő

A hőmérséklet a talaj egyik fontos fizikai állapotjelzője és ezért az a talajban lezajló élettelen fizikai és kémiai, valamint az élő biológiai folyamatok szabályozásában jelentős szerepet játszik.

Bár a talajhőmérsékleti megfigyelésekkel, valamint a mérési adatok feldolgozásával és az eredmények értékelésével főleg a meteorológia foglalkozik, mégis e kérdések fontos határterületi jellege miatt egyes vizsgálatok eredményei a társtudományok részére is hasznosíthatók lehetnek. Itt most első sorban a talajtan, valamint az arra épülő vagy ahhoz szorosan kapcsolódó tudományágak (pl. földműveléstan, melioráció, vízgazdálkodás, növényvédelem stb.), ill. a végső célként tekinthető növénytermesztés igényeire gondolunk.

A címben foglalt célkitűzéseink, valamint azok irodalmi előzményeivel foglalkozó ismertetésünk előtt szükségesnek tartjuk egészen röviden — saját módszereink könnyebb érthetősége érdekében — összefoglalni a talaj hőmérsékletével kapcsolatos vizsgálatok legfontosabb témaköreit.

Az idők folyamán ugyanis a talajhőmérsékleti vizsgálatok több részterületre váltak szét, amelyek azután már bizonyos mértékig önálló kutatási ággá is váltak. Így most már a klimatológiai (meteorológiai állomások bolygatatlan talajában végzett mérések), a mezőgazdasági (növényállományok talajhőmérséklete, talajművelési eljárások stb. hatása a hőmérsékletre) és a hőháztartással kapcsolatos talajhőmérsékleti vizsgálatok mérési és feldolgozási módszerei, valamint céljai is eléggé eltérnek egymástól.

A mérési adatok feldolgozásának főbb elvi céljai szerint pedig *periódikus* vagy *aperiódikus* jellegű folyamatok felderítésére irányuló törekvés alapján sorolhatjuk két fő csoportba a vizsgálatokat.

Amíg a talajhőmérséklet periódikus törvényszerűségeinek elemzésére mind a hazai, mind a külföldi irodalomban viszonylag nagyszámú feldolgozást és adatot találunk, ugyanakkor az aperiódikus változásokra vonatkozóan jóval kevesebb vizsgálat és eredmény áll rendelkezésünkre (JENEY [10]).

A talajhőmérséklet mérésekkel kapcsolatos általános kérdéseket, valamint az azokhoz tartozó legfontosabb irodalmi forrásokat, egy sajtó alatt levő másik tanulmányunkban (JENEY [10]) kissé részletesebben áttekintettük. Az ott leírtakra utalva ezért most csak olyan tényekre, illetve kézikönyvekre utalunk, amelyek alapján egy-egy témakör alapcélkitűzései és legfontosabb eredményei megítélhetők, illetve azokban megtalálhatók.

A talajhőmérséklet klimatológiai célú feldolgozásai általában a sokévi átlagok alapján a vizsgált talajszelvényben (0—2 m) uralkodó periódikus

jellemvonások, illetve szélsőértékek feltárására irányultak [2, 3]. Ily módon bizonyos időponthoz vagy időszakhoz (pl. nap, hónap, évszak, év) rögzítették ezek a vizsgálatok.

A mezőgazdasági céllal végzett talajhőmérsékleti mérésekre jellemző a szezonális jelleg, és egyúttal az adatok feldolgozásánál szintén a periodikus jellemvonások meghatározása volt a domináns. E témakörrel kapcsolatban két régebben megjelent kézikönyvre utalunk (AÚJESZKY, BERÉNYI és BÉLL [1]; GEIGER, [6]). Az utóbbi 25 évben e területen végzett széles körű hazai vizsgálatokról sajnos még nem jelent meg összefoglaló munka.

A hőháztartás mérések során a földfelszínre leérkező sugárzási energia egyik komponensének hatásaként — a talaj felmelegítésére jutó energiahányad alapján — vizsgálják a talajhőmérséklet alakulását. Az adatfeldolgozás során elsősorban itt is a periodikus törvényszerűségek feltárása a cél [5, 6].

Itt megjegyezzük még, hogy az utóbb említett két vizsgálati területen általában a borult és csapadékos időszakokat mint „zavaró” körülményt tekintették, és az ilyen időszakokat ki is hagyták a vizsgálatokból.

Az aperiodikus talajhőmérsékleti változások vizsgálatával kapcsolatban a célkitűzéseinkhez leginkább közeleső két tanulmányra utalunk.

BECKER [4] mérései igazolták, hogy a tenyészidőszakban az esőhullás idején a talajhőmérséklet lényegesen megváltozik és a leérkező hidegebb víztől a felszín lehűlése után a beázás folyamatával a hőmérsékletcsökkenés is tova-terjed a talajszelvényben. VARGA-H. [11] pedig Martonvásáron végzett talajművelési kísérletei során azt tapasztalta, hogy a különböző kezelések hatása derült időben elég jelentős hőmérsékletkülönbségben jelentkezett a kontrollhoz (műveletlen) viszonyítva (illetve az egyes kezelések között is volt eltérés). Ezzel szemben a borult, csapadékos időjárási helyzetekben az összes kezelés, valamint a kontroll között nem volt szignifikáns hőmérsékletkülönbség.

Az aperiodikus jellegű időjárási folyamatok megfigyelése, illetve az ilyenkor uralkodó talajhőmérsékleti viszonyokra vonatkozó rendszerezettebb adatértékelések hiánya irányította figyelmünket e kérdések felé. Első tanulmányunkban (JENEY [8]) elemeztük a különböző időjárási helyzetek hatását a növényállományokban kialakuló talajhőmérsékletre. A vizsgálatok során kitűnt, hogy a talajhőmérséklet karaktere három egymástól jól elválasztható időjárási típus szerint csoportosítható (csapadékos és csapadéknélküli hidegadvékei, valamint felmelegedési szakaszok). Az időjárásváltozások hatása a talajhőmérséklet alakulásában tompítottabban jelentkezik a növényállományokban, mint a csupasz (fedetlen) talajon. Az ekkor megkezdett munkát később egy átfogóbb vizsgálat követte, doktori disszertációként (JENEY [9]), amelyben az egész tenyészidőszakra kiterjedtek már az elemzések, és megkíséreltük az aperiodikus talajhőmérsékleti folyamatok rendszerbe foglalását. Ezekhez a vizsgálatokhoz kapcsolódott még a talajhőmérsékleti változásoknak a talaj-víz háztartására gyakorolt hatásának elemzése is.

Jelen tanulmányunk, valamint a már idézett és sajtó alatt levő munkánk (JENEY [9]) a disszertációinkban elért eredmények egy részén alapul, és reméljük, hogy vizsgálataink további részeinek közreadására is sor kerülhet a közeljövőben.

A most bemutatásra kerülő vizsgálatokkal elsősorban arra kerestünk feleletet, hogy a folytonosan változó időjárási körülmények (hideg és meleg advékei, csapadék) milyen hatást gyakorolnak a talajhőmérséklet alakulására, tekintettel ezeknek a hatásoknak időbeli tartamára, mélységbeli lehatolására,

illetve az így tovaterjedő hullámoknak az egyes talajrétegekben jelentkező fáziseltolódásaira. Megvizsgáltuk ezenkívül még a jelentősebb időjárásváltások előfordulási gyakoriságát — az egész tenyészidőszakra vonatkozóan, —, amely lehetővé teszi a fentebb vázolt folyamatok statisztikai értékelését is.

Vizsgálati anyag és módszer

A vizsgálatokhoz felhasznált talajhőmérsékleti adatok észlelését az Agrártudományi Egyetem kísérleti terén, a Gödöllő-Szárítópusztai meteorológiai állomáson végeztük 224 m tengerszint feletti magasságban. A higanyos talajhőmérők elhelyezése a szabványmélységekben (2, 5, 10, 20, 50 és 100 cm) történt, és az észlelések a terminus időpontokban (7, 14, 21 ó, illetve 1966-tól 7, 13, 19 ó) folytak. A felhasznált mérési anyag az 1958-tól 1968-ig terjedő 10 év adatait tartalmazza, és az újabb észlelési időből adódó eltéréseket is figyelembe véve történt (homogenizálva 7, 14, 21 ó-ra).

Az állomáson a talaj gyommentes (fedetlen), de bolygatás (művelés) nélkül hagyott — a vidékre általában jellemző — rozsdabarna erdőtalaj volt. A talaj fizikai állapotát tekintve a jobbminőségű homoktalajok közé sorolható, és mint lepelhomok kb. 1 m vastagon képezi a felső talajszintet (A és B szint). Az 1 m-es szint alatt (C szint) előbb homokos, majd lejjebb agyagos vályog található.

A feltalaj fontosabb talajfizikai jellemzői a következők: (GÁBRIEL, A. nyomán): a h_y -értéke 1,06, Arany-féle kötöttségi száma 25, ötórás kapilláris vízemelése 340 mm, humusztartalma 1,55%. A vízkapacitása 19,3 térfogatszázalék, természetes ülepedettségi állapotban. A talajtípust és az arra vonatkozó talajfizikai állandókat azért közöltük itt részletesebben, mert a konkrét talajhőmérsékleti adatok helyes értelmezése csak így válik lehetővé. E tényre a későbbiek során még utalni fogunk.

A talajhőmérsékleten kívül az elemzésekhez szükséges egyéb időjárási adatok (léghőmérséklet, szél, felhőzet stb.) esetében az összehasonlítások és kiegészítések, valamint az éghajlati átlagok (50 évi) viszonylatában, az országos megfigyelőhálózat keretében működő gödöllői éghajlati állomás (Egyetem-park, 218 m tengerszint felett, majd 1967-től Egyetem-obszervatórium, 242 m) anyagát is felhasználtuk.

Az elemzések során alkalmazott módszerek

Bevezetőül itt utalnunk kell arra a tényre, ami az irodalmi források ismeretése alapján világosan kitűnt, hogy a talajhőmérsékleti viszonyok kialakulásának ilyen nézőpontból történő vizsgálatával rajtunk kívül még más nem foglalkozott. Ezért a cél eléréséhez szükséges módszereket is nekünk kellett kidolgozni. A módszerek — bár elemeit tekintve több esetben hagyományosak — összességükben azonban újnak tekinthetők.

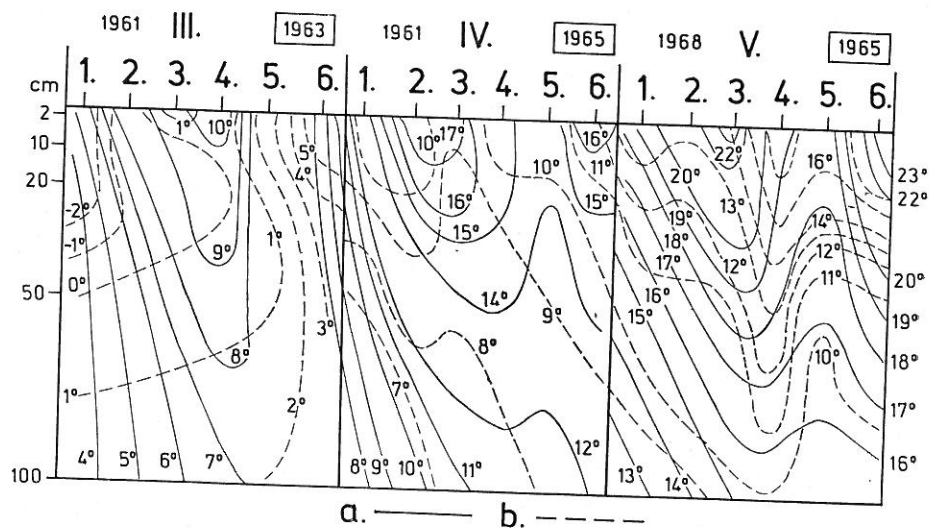
Kiindulási és viszonyítási alapként először a 10 évi (1958—1968) adatsor alapján a pentádatlagok felhasználásával meghatároztuk az évi átlagos geoizotermákat (2 m mélységig), minthogy ezideig ilyen adatokkal Gödöllőre vonatkozóan nem rendelkezünk. A geoizotermák térbeli és időbeli alakulása tendenciájában nagy hasonlóságot mutat hazánk más mérőállomásain már ismert ilyen eredményekhez (AUJESZKY, BERÉNYI és BÉLL [1]; BACSÓ [2]), de együt-

tal a talajtípus, valamint a helyi éghajlati adottságok hatásai is tükröződnek azokban. Az adatok, illetve az ábra közlésétől azonban itt eltekintünk, mint-hogy célkitűzésünk most más irányú.

Az időjárás-változások által a talajhőmérséklet alakulásában kiváltott hatások általános jellegű bemutatására, a megfelelően kiválasztott hónapok tényadatai már alkalmasak. A lehülési és felmelegedési hullámok követése és azonnali összehasonlíthatósága céljából a 10 év alatt előfordult leghűvösebb (leghidegebb) és legmelegebb azonos hónapok adatait használtuk fel. Ezeket évszakok szerint csoportosítottuk (tavasz, III–V.; nyár, VI–VIII.; ősz, IX–XI.) és a pentádatlagokból megrajzoltuk a geoizotermákat (1., 2. és 3. ábra). A számítások megkönnyítése céljából csak a hónapon belüli pentádokkal dolgoztunk, ezért esetenként azok 6 nap átlagai is lehetnek. A 10 évi átlagoktól való eltérések bemutatására három kiválasztott pentádban (1., 3. és 6.) 6 mélységre (2, 5, 10, 20, 50 és 100 cm) vonatkozóan közöltünk adatokat (1., 2. és 3. táblázat). A vizsgált törvényszerűségek télen másképp nyilvánulnak meg (talajfagy, hótakaró stb.), ezért a jelen vizsgálatokból a téli időszakot kihagytuk.

Az időjárás folyamatok részletesebb elemzésénél még további szűkítettük a figyelembe vett időszakot, és lényegében a túlnyomóan fagymentes intervallumot (III–X. hónapok) vizsgáltuk meg, amelyet a továbbiakban *bővített (teljes évi) tenyészidőszaknak* nevezünk.

Az időjárás-változások és típusok jellemzéséhez, valamint elkülönítéséhez a meteorológiában általánosan használt légtömeg és front definíciókat (AUFJESZKY, BERÉNYI és BÉLL [1]; BACSÓ [3]) céljainknak megfelelően egyszerűsítettük. A légtömegek között csak aszerint tettünk különbséget, hogy azok hidegebb vagy melegebb levegőt szállítottak-e hozzánk. A hidegfrontokat a beérkezésük során lehullott csapadék nagysága szerint osztályoztuk, mégpedig



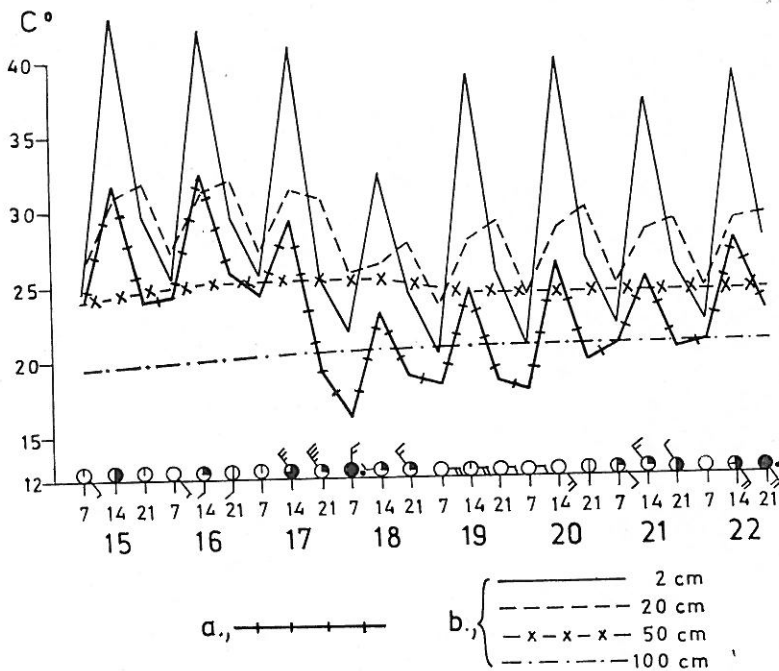
1. ábra

Egy meleg és egy hűvös tavasz hónapjainak talajhőmérsékleti viszonyai (Gödöllő-Szárítópusztá). a) meleg; b) hűvös. Függőleges tengely: mélység, cm. A bekeretezetlen évszámok a meleg, a bekeretezettek a hűvös hónapok évjázatát jelölik

1 napot (alsó határérték). A továbbiakban pedig a hőmérsékletváltozásnál a $\pm 2-4$, $\pm 4-6$, $\pm 6-8$ stb. fokot, az időtartamnál pedig a 2, 3, 4, 5, 6 stb. napot elérő egyirányú változás (felmelegedés vagy lehűlés) szerint kategóriákat állítottunk fel. A hőmérsékleti hullámokat mindig a tetőpontból a mélypontig (hideghullám), illetve a mélyponttól a tetőpontig (felmelegedési szakasz) számítottuk. Ily módon a hideghullámok hosszaként a csökkenő hőmérsékleti tendenciájú napok számát, illetve a felmelegedési szakaszokra vonatkozóan az emelkedő hőmérsékletű napok számát kaptuk eredményül. A szakaszok hosszához kapcsolva a megfelelő hőfokkategóriát megkaptuk, hogy hány fokot tett ki a hőmérséklet emelkedése vagy csökkenése a kérdéses időszakokban. Ezeket a gyakorisági adatokat azután háromdimenziós, koordináta rendszerben ábrázoltuk, amelyek jól lehetővé teszik az eloszlási görbék komplex szemléletét is (7./A, 7./B és 8. ábra). Az egyes tengelyeken így módon a szakaszok hossza, a hőmérsékletváltozás nagysága, és az esetek száma került felmérésre.

Végül itt kell megemlítenünk azt a fontos ténytet, hogy elemzési módszereink nincsenek mérési helyhez kötve — legalábbis a mérsékelt éghajlati övezetekben (BACSÓ [3]) — tehát azok általános fizikai és időjárás törvényszerűségeket fejeznek ki. Ily módon bármelyik hazai vagy a mérsékelt éghajlati övbe tartozó külföldi meteorológiai állomás adatsorainak felhasználásával

1958 VII. 15-22.



5. ábra

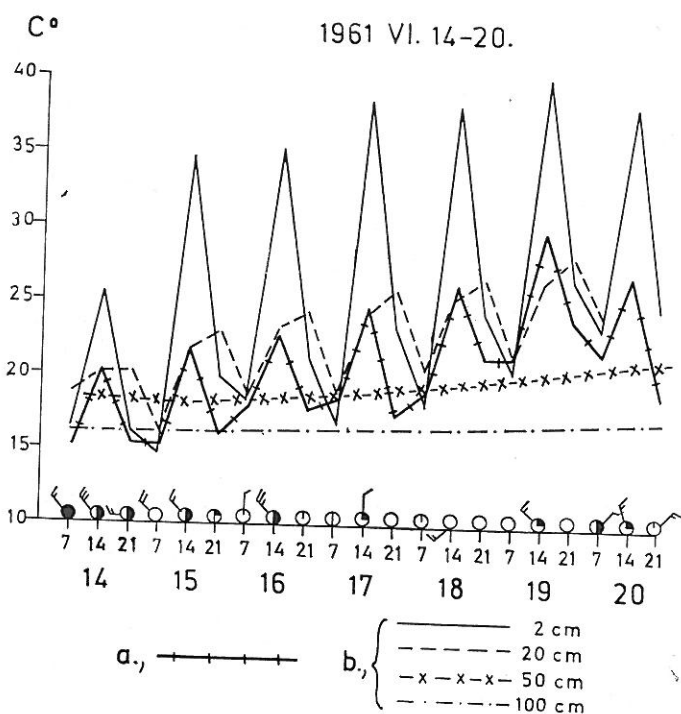
A csapadék nélküli hidegetörés hatása a talaj- és a léghőmérséklet alakulására. Jelmagyarázat: l. 4. ábra

tendenciában hasonló jellegű eredményekre jutnánk. Természetesen a változások konkrét nagysága, a talajbahatolás intenzitása, időtartama stb. már függvénye az illető mérési hely klimatológiai adottságainak, valamint az ott található talajtípusnak is.

Vizsgálati eredmények

Előljáróban meg kell említenünk, hogy a vizsgálati anyagként felhasznált 10 esztendő (1958—1968) olyan évjáratokból tevődött össze, amelyeknek adatai tartalmazzák majdnem mindazon időjárási lehetőségeket, amelyek hazánk területén — de egyelőre szűkebb értelemben Gödöllőn és környékén — éghajlatilag is kialakulhatnak. Az adatokból kitűnik, hogy ebben az időszakban előfordultak száraz, meleg esztendők, (pl. 1961) és hűvös, csapadékos évek is (pl. 1965) egyaránt [7]. Évszakos és havi viszonylatban nézve a kérdést, még inkább kitűnik ez a változatosság. Ily módon tehát az elemzések során kapott eredményeink reprezentatív jellegűeknek tekinthetők.

Amint az általánosan ismert, a földrajzi szélesség meghatározza az oda leérkezhető sugárzási energia évi menetét, illetve annak mennyiségét. A lég- és talajhőmérséklet évi alakulásának, illetve menetének is ez a sugárzási energia a fő meghatározója. Az általános légkörzés során azonban a hideg és meleg



6. ábra

A felmelegedési időszak hatása a talaj- és a léghőmérséklet alakulására. Jelmagyarázat:
1. 4. ábra

légtömegek energiaszállításukkal jelentős mértékben módosítják ezt az elméletileg szabályos évi periodicitást. Ezenkívül ugyanakkor a légtömegcsere kísérő jelenségei (felhőzet, csapadék stb.) akadályozzák a sugárzási energiának a földfelszínre történő leérkezését is. Ily módon a lég- és talajhőmérséklet szabályos évi menetében módosulást okoz az advekción.

Végeredményben az *advektív* hatások bármikor bekövetkezhetnek az év folyamán, és az azokat kísérő általános időjárási helyzetnek megfelelően gyakorolnak kisebb-nagyobb hatást a lég- és talajhőmérsékletek kialakulására.

1. Az advekciónak általános jellemvonásai a talajhőmérséklet alakulásában

Az advektív folyamatok talajhőmérsékletre gyakorolt hatásmechanizmusának általános jellemzésére, a pentádátlagokból megrajzolt geozotermák is alkalmasak már, ha az időszakot megfelelően választjuk ki.

A 10 év alatt előfordult legmelegebb és leghűvösebb (leghidegebb) hónapok adatai lényegében már jól megközelítik azokat a lehetőségeket, amelyek az adott talajtípuson, illetve éghajlati körzetben létrejöhetnek. Ily módon abszolút értékben is látható a hatás, de ha közelítő szélsőértékként (maximum, illetve minimum) fogjuk fel azokat, úgy számszerűvé válik az az eltérés, amely a talajhőmérsékletben azonos hónapban felléphet.

Mint hogy az egyes hónapok, illetve évszakok között bizonyos eltérések mutatkoznak az advekción hatásában, ezért mindhárom időszak talajhőmérsékleti viszonyait külön-külön is szükséges bemutatni. Az ábrákon látottak azonban egyúttal módszerünk általános érvényű jellegét is bizonyítják.

A *tavaszi időszak* (III—V.) legmelegebb és leghidegebb hónapjainak geozotermáit az 1. ábrán mutatjuk be. Ennek alapján a következő legfontosabb megállapításokat tehetjük. Először az egyes hónapokban bekövetkező abszolút értékekről kell szólnunk.

A hideg márciusban még lehet jelentősebb talajfagy (2—20 cm), ugyanakkor a meleg márciusban a 10°-os pentádátlag is előfordul.

A hideg áprilisban 10—11° a felmelegedés mértéke (2—20 cm), ugyanakkor a meleg évékben 16—17° is lehet tartósabb ideig.

A hűvös májust 12—17°-os értékek jellemzik (2—20 cm), de a meleg hónapokban 20—23°-ig felmelegedhet a talaj.

Természetesen a különböző mélységekben eltérő nagyságúak ezek az értékek, ami megfelel az általánosan ismert talajfizikai törvényszerűségeknek.

Az egész időszakra vonatkozóan érdemes még felhívni a figyelmet arra a tényre, hogy körülbelül egyhónapos eltolódás jelentkezik a felmelegedésben és lehűlésben egyaránt, azaz az *előző havi meleg típusok közelítőleg megegyeznek a következő hónapban a hideg típusnál fellépő értéktartománnyal*, illetve ez a meleg típusokra fordítva érvényes.

Hogy az ábrán látható számértékeket a 10 évi átlagokhoz mérve is megítélhessük, elkészítettük az eltéréstáblázatot is (1. táblázat), melyet havonta csak három pentádra (1., 3. és 6.) közlünk. Megjegyezzük azonban, hogy az itt nem közölt pentádok (2., 4. és 5.) tendenciájában teljesen hasonló kép alakul ki, ami különben az ábra alapján is eldönthető.

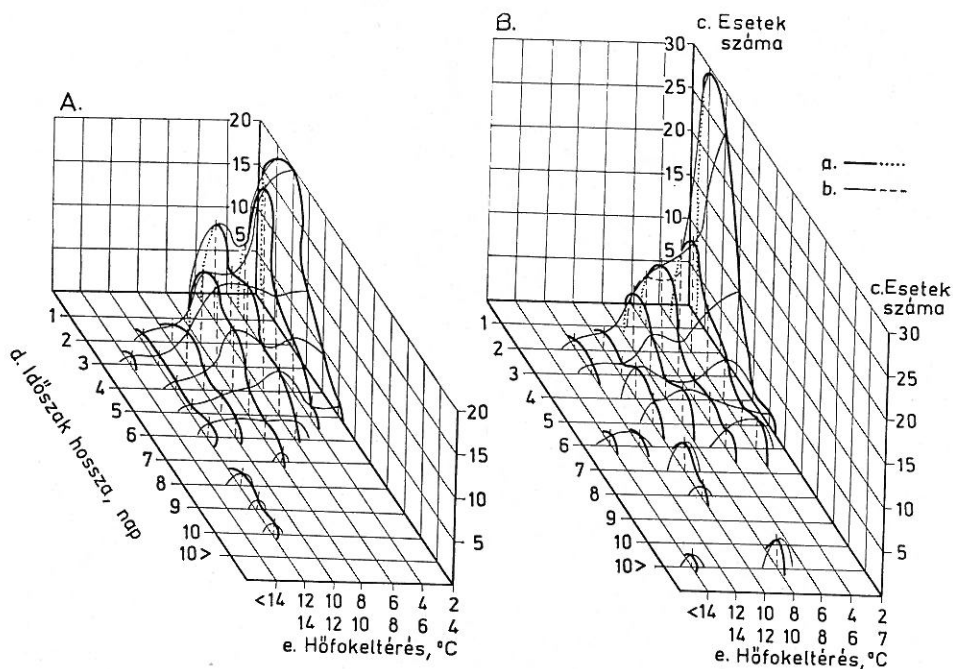
A *nyári időszak* (VI—VIII.) jellemző hónapjainak talajhőmérsékleti viszonyait a 2. ábrán láthatjuk. Az ábra alapján a következő fontosabb tények-re hívjuk fel a figyelmet. Általános vonatkoztatásként megállapítható, hogy

ebben az évszakban alakulhatnak ki a legváltozatosabb talajhőmérsékleti állapotok. A hűvös esetek abszolút értékei viszonylag jól megegyeznek mindhárom hónapban. A meleg periódusokban júliusban következik be az évi talajhőmérsékleti tetőpont (ez az időszak lényegében így egybeesik a léghőmérséklet évi maximumával is), illetve ez még áttolódhat augusztus legelső napjaira is. A felmelegedés mértékére jellemző, hogy a vizsgált talaj még 1 m mélységben is felmelegedhet 22–23°-ra, a legfelső rétegek (2 cm) hőmérséklete pedig pentadátlagokban is eléri, sőt kissé még meg is haladja a 30°-ot.

A 10 évi átlagoktól való eltérések táblázatát (2. táblázat) szintén közöljük erre az időszakra is, a korábban már alkalmazott módszer szerint. (Megjegyzés az 1. táblázat után).

Végül az őszi hónapok (IX–XI.) jellemző adatait mutatjuk be a 3. ábrán, amelynek alapján az alábbiakat állapíthatjuk meg. Az évszak jellegéből a csökkenő tendencia egyértelműen adódik. Ügyszintén látszik a hőmérsékleti adatokból az az ismert tény is (Bacsó [2]), hogy a nyári felmelegedés utóhatásának következtében (valamint még egyéb okok is közrejátszanak ebben pl. a kiszáradás) magasabb hőmérsékleteket találunk, mint tavasszal.

A meleg szeptember még majdnem teljesen nyári hőmérsékleti eloszlást mutat (22–26° 2 cm-en). A hűvös szeptemberben már a hónap vége felé 12–13°-ra is lecsökkenhet a talajhőmérséklet.



7. ábra

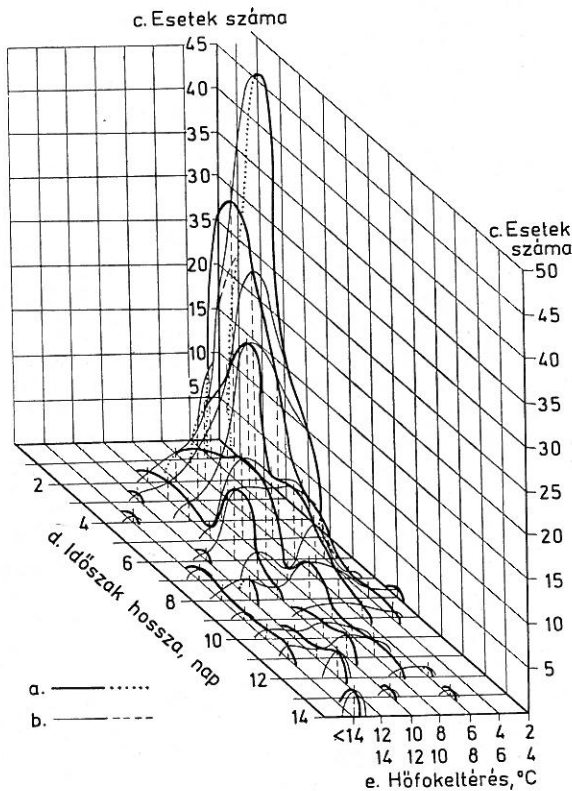
A csapadékos hidegbetörés (A) és a csapadék nélküli hidegbetörés (B) esetek eloszlás-görbéi, az időtartam és a hőfokeltérés függvényében (Gödöllő, 1958–1968)
 a) Hőfok szerinti eloszlás-görbék; b) időtartam szerinti eloszlás-görbék; c) esetek száma;
 d) időszak hossza, nap; e) hőfokeltérés, °C

A meleg októberben a felső szintekben sem éri már el a talajhőmérséklet pentádátlagban a 20°-ot. A hűvös október pedig egyértelműen mutatja, hogy az alsóbb (50–100 cm) talajszintek hőmérséklete magasabb, mint a felettük levő rétegeké.

A meleg november még végig fagymentes lehet, és az alsóbb rétegek hő-tartalékai miatt az egész szelvény (2–100 cm) hőmérséklete jól kiegyenlített (4–11° között). A hideg novemberben a 4. pentádtól számíthatunk talajfagyra is. Ilyenkor meggyorsul az alsó rétegek (50–100 cm) lehülése is.

A 10 évi átlagoktól való eltéréseket, az előzőkhöz hasonlóan, a 3. táblázat tartalmazza. Az 1., a 2. és 3. táblázatban szereplő számértékekről összefoglalóan még annyit jegyzünk meg, hogy a pozitív és negatív eltérések összege jól jellemzi a meleg és a hűvös időszakok közötti különbségek mértékét a mély-ségek szerint.

Az advekciónak hatásai főbb vonásai jól szemléltethetők voltak az eddig bemutatott ábrák és táblázatok alapján. Egyben bizonyították, hogy az advekció milyen jelentős talajhőmérsékleti változások előidézésére képes és az rövi-debb időszakokon belül felül is múlhatja a besugárzásból adódó hőgazdálkodás mértékét.



8. ábra

A felmelegedési időszakok eseteinek eloszlásgörbéi, az időtartam és a hőfokeltérés függvényében (Gödöllő, 1958–1968). Jelmagyarázat: l. 7. ábra

1. táblázat

A meleg és a hűvös tavasz hónapjainak talajhőmérsékleti eltérései a 10 évi (1958—1968) átlagoktól, a jelzett pentádokban és mélységekben (°C)

(1) Mélység, cm	III.			IV.			V.		
	Pentád			Pentád			Pentád		
	1.	3.	6.	1.	3.	6.	1.	3.	6.
2	+2,9 -5,9	+5,8 -1,9	-0,9 -1,3	+3,2 +0,4	+4,9 -3,7	+0,7 -3,7	+3,5 -2,2	+3,7 -5,2	+3,9 -2,1
5	+2,2 -5,7	+5,9 -3,0	-0,4 -2,0	+3,4 +0,6	+5,0 -3,5	+1,0 -3,4	+2,3 -2,2	+3,3 -5,2	+3,0 -2,0
10	+1,4 -5,3	+5,1 -3,5	-0,6 -1,7	+2,6 +0,7	+4,3 -3,3	+0,7 -3,3	+2,4 -2,1	+3,6 -4,9	+3,1 -1,7
20	+1,8 -4,8	+5,5 -3,1	+0,4 -3,0	+2,7 -0,2	+4,6 -3,2	+1,2 -3,7	+2,0 -2,3	+3,3 -5,0	+2,4 -1,6
50	+1,0 -2,4	+3,7 -3,1	+1,6 -3,2	+1,5 -1,0	+3,4 -1,6	+1,5 -3,2	+1,2 -2,6	+3,0 -4,8	+2,3 -5,7
100	+0,5 -1,2	+1,7 -2,0	+2,0 -2,7	+1,3 -0,4	+2,5 -0,6	+1,4 -2,2	+0,8 -2,3	+2,1 -3,6	+1,3 -4,7

a) Az aláhúzatlan szám a „meleg”, az aláhúzott a „hűvös” hónapokra vonatkozik.

A talajban így kialakuló hőmérsékleti változások azonban — a levegőtől lényegesen eltérő anyagi tulajdonságok miatt (sűrűség, hőkapacitás stb.) — jelentősebbek, mint amilyenek egyidejűleg a légtérben kialakulhatnak.

Ezeknek a folyamatoknak a részletesebb vizsgálatára tehát szükség van, tekintettel arra, hogy az ötnapi átlagok az esetenként ténylegesen fellépő hatások nagyságát jelentősen letompítják és csak az általános tendenciát (meleg száraz, hűvös csapadékos időszakok) mutatják jól.

Ezért reprezentatív esetek segítségével egy-egy jellemző időjárási folyamatot is bemutatunk, ami lehetővé teszi az advektív légtömegcserék során fellépő talajhőmérséklet-változások teljesebb áttekintését.

2. A légtömegcserék során bekövetkező talajhőmérsékleti változások

A reprezentatív esetekre vonatkozó vizsgálatainkat a továbbiakban a módszereknél már leírt csoportosításnak megfelelően mutatjuk be.

a) *A csapadék és a hidegbetörés együttes hatása a talaj hőmérsékletére* — A hidegfront érkezését kísérő csapadék nagysága nagyon változó. Az alsó határként választott 5 mm-es eső lehullása azonban már minden esetben kimutatható változást okoz a talajhőmérsékletben. Tág határok között mozoghat a légtömegcserét kísérő léghőmérséklet-változás mértéke is. A növekvő csapadék, illetve az erősebb lehűlések hatása egyre inkább megmutatkozik a talajhőmérséklet módosításában. A két elem együttes hatása úgy érvényesül a legjobban, ha nagy csapadék nagy lehűléssel társul.

2. táblázat

A meleg és a hűvös nyár hónapjainak talajhőmérsékleti eltérései a 10 évi (1958—1968) átlagoktól, a jelzett pentádokban és mélységekben (°C)

(1) Mélység, cm	VI.			VII.			VIII.		
	Pentád			Pentád			Pentád		
	1.	3.	6.	1.	3.	6.	1.	3.	6.
2	+6,5	+5,3	+2,7	+5,8	+2,7	+5,4	+5,4	-0,1	+2,3
	+3,1	-5,5	-6,4	-5,9	-3,3	+0,1	-5,4	-4,2	-6,4
5	+5,8	+5,4	+2,6	+5,0	+2,1	+4,7	+4,7	-0,2	+1,7
	+3,5	-4,9	-6,4	-4,7	-3,5	0,0	-5,6	-4,1	-6,0
10	+6,1	+5,3	+2,3	+5,3	+2,0	+4,7	+4,7	-0,3	+1,0
	+3,4	-4,3	-6,1	-5,2	-3,3	+0,1	-5,3	-3,7	-5,4
20	+5,1	+4,1	+1,6	+4,0	+1,3	+3,9	+4,3	-0,1	+1,4
	+4,1	-3,0	-5,7	-4,3	-2,7	+0,2	-5,0	-2,8	-4,7
50	+1,9	+1,5	+0,5	+3,8	+1,8	+3,8	+4,4	+1,3	+2,2
	+3,9	+0,3	-3,4	-2,1	-2,3	-0,7	-2,3	-1,1	-1,9
100	+0,5	+0,9	+0,7	+2,1	+1,4	+2,0	+3,4	+1,9	+2,3
	+2,6	+1,5	-1,2	-1,0	-2,3	-1,3	-0,8	-0,4	-0,3

a) Az aláhúzatlan szám a „meleg”, az aláhúzott a „hűvös” hónapokra vonatkozik.

A részletes elemzések azt bizonyították, hogy a tartós hatás kifejtéséhez kb. ≥ 20 mm-es eső, a déli (14 ó) hőmérsékletben kb. $\geq 10^\circ$ -os lehűlés szükséges, ami lehetőleg egy nap alatt következik be. A tartósan csapadékos időszakokban az egyes napok csapadékjainak és hidegbeáramlásainak a hatása természetesen összekapcsolódik, és ily módon azok folyamatosan alacsony lég- és talajhőmérsékleteket okoznak.

A folyamat bemutatására kiválasztott időszakot a 4. ábrán tanulmányozhatjuk, amelyen egyúttal az utóhatás is követhető.

Az ábra alapján a folyamat általános jellemvonásait az alábbiakban foglалhatjuk össze.

Először azonban röviden vázolnunk kell az időjárási helyzetképet, amelynek bizonyos állapotjelzői (felhőzet, szél) az ábrán is láthatók. A kiindulási állapot idején (15-én) meleg időjárás volt, aminek hatása a lég- és talajhőmérsékletben egyaránt tükröződik. Az időjárás alakulásának további ismertetése előtt, itt meg kell még jegyeznünk, hogy a felrajzolt csapadékadatokon kívül — ami az ismert mérési szisztéma szerint az előző 24 óra összege — a folyamatok pontosabb elemzése céljából felhasználtuk a csapadékregisztráló adatait is. A légtömegcsere közeledésének az első jele már 15-én a késő délutáni órákban (18 ó) hullott 4,4 mm-es csapadék volt. Ezután az éjszaka folyamán, majd 16-án reggel — elsősorban a magasabb légrétegekben — megindult az erőteljesebb hidegadvékciónak. Ennek hatására 16-án 11 és 15 óra között 34,9 mm-es záporosó hullott. Az esőhullással egyidőben, a még hidegebb levegő beáramlása

3. táblázat

A meleg és a hűvös őszi hónapjainak talajhőmérsékleti eltérései a 10 évi (1958–1968) átlagoktól, a jelzett pentádokban és mélységekben (°C)

(1) Mélység, cm	IX.			X.			XI.		
	Pentád			Pentád			Pentád		
	1.	3.	6.	1.	3.	6.	1.	3.	6.
2	+4,1	+1,9	+5,5	+2,4	+5,0	-0,1	+2,1	+2,0	+3,2
	-3,3	+1,7	+0,5	+2,3	-3,9	-1,6	+0,5	-4,9	-1,9
5	+4,2	+1,9	+4,9	+3,0	+4,7	+0,5	+1,6	+1,7	+3,1
	-3,3	+1,4	+0,6	+2,7	-3,5	-1,6	+0,5	-4,7	-2,0
10	+3,3	+1,9	+4,1	+3,1	+4,6	+0,9	+1,3	+1,8	+3,2
	-3,1	+1,1	+0,2	+2,8	-3,2	-1,7	+0,3	-4,3	-2,0
20	+3,0	+1,7	+3,9	+2,9	+4,3	+1,4	+0,8	+1,7	+3,0
	-3,4	-0,1	-1,1	+2,4	-2,9	-1,8	+0,4	-3,9	-2,5
50	+1,9	+1,1	+2,5	+2,5	+3,6	+2,6	-0,3	+1,3	+2,3
	-2,9	-1,8	-2,1	+1,6	-1,5	-1,6	+0,3	-2,6	-2,6
100	+1,1	+0,9	+1,6	+1,1	+2,2	+2,8	-0,9	+0,3	+1,3
	-1,7	-1,6	-1,0	+0,7	+0,1	-1,0	-0,5	-1,4	-2,6

a) Az aláhúzatlan szám a „meleg”, az aláhúzott a „hűvös” hónapokra vonatkozik.

tovább folytatódott és a napi minimum este 21 ó-kor állt be. A periódus hőmérsékleti mélypontja 17-én reggel volt. Amint látható, a csapadékos hidegbetörés két legfontosabb következménye, az hogy egyrészt megszűnteti a talajban máskor kialakuló napi hőmérsékleti menetet, másrészt pedig ilyenkor a legkisebbek a hőmérsékleti eltérések az egész talajszelvényben, illetve a légtér és a talaj között is. A hőmérsékleti értékek tehát közelednek egymáshoz. Megfigyelhető, hogy a 2 cm-es talajhőmérséklet követi legjobban a léghőmérséklet alakulását, de ilyen nagyságú esőknél már az egész 20 cm-es réteg hőmérsékleti állapotváltozásai tendenciában jól megegyeznek egymással. A talaj viszonylag lassú hővezetése, valamint a lehülést is közvetítő víznek a beszivárgásához szükséges ideje miatt, mélyebben (50–100 cm) már jelentősebb késéssel jelentkeznek a lehülések.

A hőmérsékleti mélypont (17-én reggel) után még egész nap tart a hideg levegő további beáramlása, de az ekkor egyúttal meg is szűnik. A következő napokon először még felhősebb, majd egyre derültebb időjárási helyzet alakul ki. A felmelegedés ezért az első napokban lassabban, majd egyre intenzívebben indul meg a levegőben és a felső 20 cm-es talajrétegben egyaránt. Így is csak a csapadékos naptól számított hatodik napon éri el a hőmérséklet az említett szintekben a kiindulási állapotot. A levegő és a felső talajrétegek felmelegedésének megindulásával egyidőben az 50 cm-es és a 100 cm-es mélységben még tovább csökken a hőmérséklet és a minimum bekövetkezésének napja 19-én, illetve 22-én van. Végeredményben tehát a lehülési folyamat 1 m mélységre jól kimutatható, de a lehatolási idő eléri a 6 napot.

A számszerű tájékozódás céljából még érdemes felsorolni a hőmérséklet-változás abszolút értékeit, amelyek a folyamat során az egyes szintekben előfordultak (a 14 ó-kor mért adatok figyelembevételével). Ez a léghőmérséklet-nél 7,0°-ot, a 2 cm-es szintben 16,6°-ot, 20 cm-en 4,6°-ot 50 cm-en 2,0°-ot és végül 100 cm-en 0,6°-ot tett ki.

Végül a csapadék és a hideg levegő együttes hűtőhatásának ily módon történő bemutatásakor megjegyezzük, hogy az egyszerűsítés érdekében a párolgás hőmérsékletcsökkentő hatását itt külön nem vettük figyelembe.

b) *A csapadék nélküli hidegbetörés hatása a talaj hőmérsékletére* — Azokat a hidegbetöréseket, melyeket csak 0–5 mm közötti csapadékhullás kísért, de ugyanakkor a levegő lehülése jelentős mértékű volt, ebbe a kategóriába soroltuk. Ezeknek jellemzésére az 5. ábrán látható folyamatot mutatjuk be.

Az általános időjárási helyzetkép a léghőmérséklet és a kiegészítő adatok (felhőzet és szél) segítségével jól követhető. A hidegadvekcio itt is két szakaszban zajlott le, aminek első jelei 17-én délben már jelentkeztek, de a döntő változás este 21 óráig, majd utána még az éjszakai órákban zajlott le. A hideg levegő érkezését mindössze nyomokban ($< 0,1$ mm) mérhető csapadék kísérte. A 18-i adatok már mutatják a hidegadvekcio befejeződését is. Az ezután következő napokon derült, száraz időjárás uralkodott, de a léghőmérséklet emelkedése viszonylag lassú volt, majd végül a periódus végét egy újabb csapadékkal érkező hidegfront zárta le 22-én. Ezért a további utóhatás vizsgálatára már nem volt lehetőség.

Ha ezeketán az összefüggéseket vizsgáljuk a hidegbetörés utáni helyzetben a léghőmérséklet és a talajhőmérséklet között, azonnal kitűnnek a csapadékos típushoz viszonyítva a lényeges eltérések, amelyek közül legszembetűnőbb, hogy a felső 20-cm-es talajréteg végig melegebb marad, mint a levegő. A másik fontos eltérés az, hogy a hidegbetöréstől számítva az előbb említett szintek (léghőm., illetve a 2–20 cm-es talajréteg) értéktartománya tendenciában távolodik egymástól, ami legjobban a reggeli adatoknál mutatkozik meg, de a másik két terminusnál (14, 21 ó) is jól kitűnik. A lég-, valamint a 2 és 20 cm-es talajhőmérséklet csak a hidegbetörés folyamata alatt (18-án 14 ó) kerül egymáshoz közelebb, a megelőző, ill. következő napokhoz viszonyítva.

A talajhőmérséklet ilyen kialakulásának magyarázata több okozati összetevőre vezethető vissza. A csapadék nélkül érkező hideg levegő viszonylag alacsony nedvességtartalma továbbra is fennmarad, tehát a levegő, az éjszakai kisugárzás hatására erősen lehülhet. A talaj ugyanakkor megtartja jelentős hőtartalékait, mert elmarad a víz közvetlen és közvetett (párolgás) hűtőhatása is. Egyúttal a talaj felső rétegei, minthogy a hőkapacitás nem változik meg, a besugárzás hatására — a viszonylag hidegebb levegő ellenére is — jelentősen felmelegedhetnek, ami azután az éjszakai lehülésüket is bizonyos mértékig kompenzálja. Ezért ilyenkor végül is a csapadékos helyzetek talajhőmérsékleti érték-sűrűsödésével majdnem teljesen ellentétes változások alakulnak ki a talajban.

Az egyes szintekre vonatkozóan megállapítható, hogy a 2-cm-es szint hőmérséklete áll vissza leghamarabb, 20 cm-en tartósabb a hatás, 50 cm mélységben pedig egy napig tartó csökkenés után, stacionér állapot alakul ki. A folyamat hatása 1 m mélységben már nem észlelhető.

Végeredményben tehát az ilyen esetek a talajhőmérséklet alakulására nem tudnak jelentősebb hatást gyakorolni, és ez az effektus is legfeljebb 1–2 napig tart, még akkor is, ha a léghőmérséklet napokon keresztül alacsonyabb, mint amilyen a kiindulási állapotkor volt.

c) *A felmelegedési időszakok hatása a talaj hőmérsékletére* — Minden év-szakban előfordulnak olyan időjárási helyzetek, amikor melegebb légtömegek érkeznek hozzánk, elsősorban a szubtrópusokról. Ha ezt a beáramlást nyáron magasnyomású légköri képződmény is kíséri, az abban kialakuló leszálló légmozgás felhősízelő hatása folytán a besugárzás akadálytalanul érvényesülhet. Ily módon kialakulhatnak a nagyon meleg, aszályos időszakok.

Ilyenkor nyáron hazánkban a lehetséges és ténylegesen a felszínre elérkező sugárzási energia olyan nagyságú, hogy az óceán felől érkező hűvösebb légtömegeket nyugalomba jütásuk után (ha magas légnyomás és leszálló áramlás van) viszonylag hamar felmelegíti. Ha ilyenkor nem is alakulnak ki melegrekordok, az időjárás tendenciája azonos a két esetben. Ezeket a felmelegedési szakaszokat azután, már az előbbiekbentárgyalt hidegbetörések szakítják meg. Így ha az ilyen esetekben lezajló folyamatokat is megvizsgáljuk, akkor az időjárási helyzetek a három főtípussal rendszerbe foglalhatók. Mert bármilyen időjárási helyzet is alakuljon ki, az valamelyik főtípushoz (ha nem is mindig „tisztá” típusként) mindig hozzászorolható lesz.

Itt megjegyezzük még, hogy tavasztól őszig a felsiklási frontok általában mindig szorosan kapcsolódnak egy hidegfronthoz, ezért hatásuk külön alig elemezhető. A 10 év alatt összesen csak 39 olyan eset fordult elő, amikor 5 mm-nél nagyobb csapadékhullás idején a talajmenti légtérben (2 m-en) nem volt kimutatható léghőmérséklet változás. A kis esetszám miatt ezért nem foglalkoztunk részletesebben azok elemzésével.

Mivel a csapadékos és csapadék nélküli hidegbetörések tárgyalásánál a teljes periódust bemutattuk (maximumtól — maximumig), tulajdonképpen a felmelegedési folyamatok a 4. és 5. ábrán is tanulmányozhatók. Ezért itt inkább metodikai szempontból szükséges, hogy az ilyen időjárási főhelyzetben kialakuló lég- és talajhőmérsékleti változásokat külön is bemutassuk, de most már csak a felmelegedési szakasz jellegzetességeire korlátozódva, a 6. ábrán.

A bemutatott időszak előzményeként 14-én hajnalban egy 4,6 mm-es zápor hullott, amelyet az ábrán nem tüntettünk fel. Ennek hatása a 14-én mért hőmérsékletben is felismerhető. A hidegbeáramlás azonban lényegében 15-én már megszűnt és utána az időszakban végig (20-a) jobbra derült, szélcsendes időjárás volt az uralkodó, majd egy újabb hideghullám vetett véget a felmelegedésnek.

A felmelegedés mértéke legnagyobb a 2 cm-es talajhőmérsékletnél, mivel a szél és a napsütés hatására a feltalaj hamar kiszáradt, ezért a száraz homok könnyen fel tudott már melegedni. Az alsóbb rétegekbe pedig nem jutott elég víz a 4,6 mm-es esőből, tehát az egész vízmennyiség is gyorsan elpárolgott.

Itt megjegyezzük még, hogy ez az eset egyúttal igazolja azt, hogy általában a nyári időszakban az 5 mm alatti esők hatása nem jelentékeny a talajhőmérsékletre, ami ezáltal a típusok szétválasztásánál alkalmazott módszerünk helyességére is utal.

A 20 cm-es szint hőmérséklete is viszonylag gyorsabban emelkedett mint a léghőmérséklet. Az 50 cm-es mélységben a mélypont már a második napon (15-én) bekövetkezett, 1 m-en egy stacionér állapot állt csak be.

Végül is az egész folyamat fő jellemvonásául azt emelhetjük ki — tekintettel az ismétlések elkerülésére (amire a 4. és 5. ábránál így nem utaltunk) —, hogy az idő előrehaladásával a különböző szintekben a hőmérsékleti mező értékei egyre jobban távolodnak (divergálnak) egymástól. A divergencia mértéke

pedig a hasonló felmelegedési periódusokban aszerint térhet el elsősorban egy-mástól, hogy az előzmény csapadékos vagy csapadékmentes hidegbetörés volt-e. (Vö. a 4. és 5. ábra felmelegedési szakaszát.)

3. Az időjárási főhelyzetek 10 évi (1958–1968) gyakorisága

Az időjárási főhelyzetekben kialakuló lég- és talajhőmérsékleti folyamatoknak a mintaesetekkel történő bemutatásával még nem kapunk teljes képet a hatások tényleges szerepéről, minthogy azt, csak az előfordulásuk gyakoriságának ismeretében dönthetjük el ténylegesen.

A lég- és talajhőmérsékletek közötti összefüggés jól megítélhető a mintaesetek alapján (4., 5. és 6. ábra). Bár erre vonatkozóan külön korreláció és szignifikancia számításokat nem végeztünk, de a továbbiakban csak a lég-hőmérsékleti adatokat használtuk fel a gyakorisági vizsgálatok során, a szakaszok hosszának, valamint az azokat kísérő hőmérsékleti változások nagyságának meghatározására. Ennek az eljárásunknak a fentiekén kívül még két alapos oka volt, nevezetesen először vizsgálataink egyedi jellege, másodsor pedig ebből adódóan egyelőre az általános tájékozódás célzata, amire a léghőmérsékleti adatok alkalmasabbak is, mint a talajhőmérsékleti értékek, mert azok nagysága még a vizsgált talajtípustól is nagymértékben függ.

Az eddig elmondottakból világosan kitűnik, hogy a gyakorisági elemzéseket két „irányban” is el kellett végeznünk, egyrészt a periódusok hossza (időtartam), másrészt a fellépő hőmérsékleti eltérések (süllyedő vagy emelkedő tendenciák) szerint.

A gyakorisági értékek alapján azután már megítélhetők az időjárásváltozások fő jellemzői, és azokon keresztül — ha tulajdonképpen áttételesen is — a tényleges talajhőmérséklet kialakulására gyakorolt hatásuk is.

A módszertani részben ismertetett elvek szerint tehát meghatároztuk a 10 év alatt összesen előfordult csapadékos és csapadék nélküli, valamint a felmelegedési szakaszok számát, időtartam (1, 2, 3, 4 stb. nap), illetve hőfokkategóriák ($\pm 2-4$, $\pm 4-6$, $\pm 6-8$ stb. fokos) alapján. Az így kapott adatokat háromdimenziós koordináta rendszerben ábrázolva, megkaptuk az időtartamok, illetve a hőfokkategóriák eloszlásgörbéit.

Először a *csapadékos hidegbetörések eloszlásgörbéit* mutatjuk be a 7./A ábrán, amelyen jól látható, hogy a 10 év alatt előfordult 184 eset hogyan oszlik meg időtartam és hőfokkategória szerint. Az ábrázolási mód lehetővé teszi a folyamat komplex szemléletét, ezért megállapításainkat is ennek megfelelően foglaljuk össze.

Általános tendenciaként megállapítható, hogy a rövidebb időtartamú szakaszokhoz kisebb hőmérsékletcsökkenés társul, ugyanakkor a növekvő időtartam egyúttal nagyobb hőmérsékletváltozással jár együtt. A fenti állításunk igazolására itt csak az egyes kategóriák maximumait említjük meg szám szerint is. Ezek a következőképpen alakultak a napok sorrendjében: az 1 napos, $2-4^\circ$ -nál 18 eset; a 2 napos, $2-4^\circ$ -nál 20 eset (abszolút maximum); a 3 napos, $6-8$ és $8-10^\circ$ -nál 9-9 eset; a 4 napos $8-10^\circ$ -nál 7 eset. A hosszabb periódusoknál a kis számértékek miatt a felsorolást tovább nem folytatjuk.

A *csapadék nélküli hidegbetörések eloszlásgörbéi* a 7./B ábrán láthatók. A 10 év alatt összesen 163 ilyen eset volt, ami tehát alig maradt el a csapadékos hidegbetörések előfordulási száma mögött. Ha százalékosan fejezzük ki az

arányokat, akkor kerekítve 88 %-ot kapunk eredményül. Ez a számérték éghajlati szempontból is figyelemre méltó, mert azt jelenti — az összes hidegbetöréseket alapul véve —, hogy a hideg légtömegek érkezését Gödöllőn és környékén csak alig több mint 50 %-ban kíséri 5 mm-nél nagyobb csapadék. A többi esetben 5 mm alatt marad a csapadék, vagy egyáltalán nem is esik mérhető mennyiség. Természetesen ez az arány az ország más részein másképpen alakulhat, de egyelőre ilyen jellegű vizsgálatokat még nem végeztünk.

Az ábra alapján a legfontosabb jellemvonásokat az alábbiakban összegezhethetjük. Az itt látottak alaptendenciában bizonyos hasonlóságot mutatnak a 7./A ábrával, de ugyanakkor az eltérés lényege is jól látható. *Ennek legfőbb ismérve a gyakoriságok jelentős számú növekedése a rövidebb időtartamú és kisebb hőmérsékletváltozású intervallumokban.* Az ilyen eloszlásjelleg magyarázata abban rejlik, hogy a csapadék nélkül érkező hideg levegő a léghőmérsékletváltozásra is gyengébb hatást gyakorol, tehát rövidülnek a szakaszok és kisebbek a hőfokcsökkenések is. Elmarad ugyanis egyrészt a víz közvetlen hűtőhatása, másrészt pedig a párolgásra fordított hőnek a felmelegedés mérséklésében játszott szerepe. (Vö. az 5. ábra magyarázatával.)

A gyakoriságok abszolút maximuma itt az 1 napos és 2—4°-os kategóriában található 29 esettel. A többi kategória maximumai a következőképpen alakultak: a 2 napos 2—4°-nál 25 eset; a 3 napos 2—4°-nál 10 eset; a 4 napos 4—6°-nál 4 eset.

A *felmelegedési időszakok eloszlásgörbéit* a 8. ábrán mutatjuk be. 10 év alatt összesen 353 ilyen eset fordult elő, aminek tulajdonképpen — módszerünkben — egyezni kell a kétféle hidegbetörés összes eseteinek számával (347). Az egyértelműség kedvéért jegyezzük meg, hogy a kismértékű eltérés a megszábotott periódusok (III—X. hó) miatt, a belépő, illetve a kilépő szakaszok véletlenszerű hovatartozásából adódik. Az ábrán bármelyik kategóriában található számértékeket tehát csak az előző két típus együttes eset-számaival hasonlíthatjuk össze.

Ezekután a felmelegedési időszakokra vonatkozó összefoglalást az alábbiakban adhatjuk meg. A legfontosabb jellemvonása ennek az időjárási főhelyzetnek az, az előző két típushoz viszonyítva, hogy a nagyobb gyakorisági értékek a hosszabb időtartamú, valamint a magasabb hőfokeltérésű kategóriákban jelentkeznek. Fontos jellemző még, hogy az 5 napos vagy ennél is hosszabb szakaszok száma is jelentős már. Ezeket a hosszabb időszakokat egyúttal nagyobb hőmérsékletváltozások kísérik, pl. 8—10°-os vagy még ennél is több a felmelegedés értéke. Az adatok egyúttal összhangban vannak a mintaeseteken látottakkal (4., 5. és 6. ábra), ahol szintén már tanulmányozható volt a hőmérsékleti hullámok *aszimmetriája*. Erre vonatkozóan bizonyos utalásokat találunk az irodalomban is (AUJESZKY [1], BACSÓ [2]), mert ez a jelenség egyúttal hazánk éghajlatának általános jellemvonásai közé tartozik.

A gyakoriságok abszolút maximumát itt a 2 napos és 2—4°-os kategóriában találjuk 46 esettel. A többi kategóriában pedig, az időtartam szerinti sorrendben, a következőképpen alakulnak a maximumok: az 1 napos, 2—4°-nál 23 eset; az 5 napos, 8—10°-nál 9 eset, a 6 napos, 8—10°-nál 8 eset. A további felsorolástól, a kisebbedő számértékek miatt itt is eltekintünk.

Ha most az időjárási főhelyzetek gyakorisági jellemzőinek szerepét vizsgáljuk az egyidejűleg kialakuló talajhőmérsékleti állapotokban, akkor végérvényesen igazolódik a pentádátlagokkal, majd a mintaesetekkel történt elemzéseinknek az egész tenyészidőszakra folyamatosan kiterjedő realitása. A tény-

leges talajhőmérsékleti viszonyokat tehát csak a fentiek ismeretében ítélni lehetjük meg reálisan.

Az időjárási főhelyzetek átlagos évi száma (10 évi átlag) a következőképpen alakul (III—X.): csapadékos (≥ 5 mm) hideghullám 18, csapadék nélküli (0—5 mm) 16 és felmelegedési időszak 34.

A periódusok tényleges száma természetesen az egyes években ingadozást mutat az átlag körül, az általános légkörzés intenzitására visszavezethető okok miatt (pl. napfoltciklus). Tájékoztatásul itt még a szélsőértékeket közöljük, amelyekből éppen a periódusok viszonylag egyenletes jelentkezése tűnik ki. A szélsőértékek esetszámjai a következőképpen alakultak: csapadékos hidegbetörés maximuma 23 (1960, 1963), minimuma 14 (1959, 1961); csapadék nélküli hidegbetörés maximuma 19 (1961), minimuma 13 (1965); a felmelegedési időszak maximuma 41 (1960), minimuma 30 (1959). Az itt ismertetett esetszámokkal kapcsolatban azonban megjegyezzük, hogy az éghajlati általánosíthatóság céljából, az elkövetkezendő időkben szükségesnek tartjuk ezeket az elemzéseket hosszabb adatsorokon (20, 30, 50 év) elvégezni, de nekünk most egyelőre 10 évi anyag feldolgozásához volt technikai lehetőségünk.

Befejezésül még arra szeretnénk utalni, hogy a talajhőmérsékletre vonatkozó konkrét szám adatok csak az adott talajtípus és talajállapot (fedetlen vagy csupasz) mellett érvényesek. Azonkívül Gödöllő éghajlatának adottságait is magukban hordozzák az adatok, ami egyúttal vonatkozik a léghőmérséklet és a csapadékértékekre is.

Hangsúlyoznunk kell, hogy különféle talajtípusokon, a különböző fedettségi állapotok (növényállományok) esetében, úgyszintén az eltérő klímaadottságok mellett, az időjárási főhelyzetek más és más mértékű eltéréseket hoznak létre a talajhőmérsékletben. Ezért az eredmények átvétele és felhasználása csak *tendenciaszerűen* lehetséges, ez azonban minden esetben reális alapon nyugszik, amint azt már a módszertani részben is említettük.

Az említett kérdéseket — annak ellenére, hogy itt most sem módunk, sem célunk nincs taglalásukra — szükségesnek tartottuk megemlíteni, az eddigi eredményeink felhasználhatóságának érdekében. Úgyszintén csak utalni tudunk azokra a kapcsolatokra, amelyek a dinamikus talajhőmérsékleti változásoknak a talajtani, meliorációs, vízháztartási és vízgazdálkodási, növénytermesztési stb. vonatkozásaival függnek össze.

Reméljük, hogy a már meglevő eredményeink alapján (JENEY [9]), módunkban lesz a közeljövőben egyes részletkérdésekre is visszatérni, egy újabb tanulmányban, amint arra már a bevezetőben is utaltunk.

Összefoglalás

1. Az időjárásváltozások által a talajhőmérséklet alakulásában kiváltott hatások elemzését Gödöllőn, rozsdabarna erdőtalajban (amely gyommentes, de bolygatatlan volt) mért adatsorok felhasználásával végeztük. A vizsgálatok során kapott eredmények számszerűen is igazolták, hogy az advektív hatások jelentős mértékben befolyásolják a talajhőmérséklet kialakulását.

2. A talajhőmérséklet alakulásában a hideg és a meleg advekcio hatásának általános jellemvonásai, a megfelelően kiválasztott hónapok adataiból is jól láthatók.

3. Az időjárási helyzetek közül a csapadékos hidegbetörés okozza a legnagyobb mértékű és legtartósabb változást mind a talaj-, mind a léghőmérsékletben. A csapadéknélküli hidegbetörés hatása időtartamban és lehatolási mélységben is kisebb ennél. A felmelegedési időszakokban pedig általában folyamatosan növekszik a hőmérsékletkülönbség a felső, illetve az alsó talajszelvények között.

4. A gyakorisági eloszlásgörbék azt mutatják, hogy a csapadékos hidegbetörések időtartama és a velejáró hőmérsékletcsökkenés hosszabb, illetve nagyobb, mint a csapadéknélküli helyzeteké. A felmelegedési időszakok időtartama pedig a lehülési szakaszokhoz (csapadékos és csapadéknélküli együttesen) viszonyítva növekszik, ami a hőmérsékleti hullámok aszimmetriájára utal.

5. Az alkalmazott módszerek alkalmasak az aperiódikus talajhőmérsékleti változások átfogóbb vizsgálatához és egyúttal azok általánosíthatók is, mert hasonló elemzések elvégezhetők bármelyik hazai mérőállomás adatsorainak felhasználásával.

6. A gyakorisági adatok egyértelműen bizonyítják még hazánk időjárásának változékonyságra hajló jellegét. Az advektív folyamatok pedig a talajhőmérséklet alakulására olyan mértékben hatnak, hogy az sem a kutatási, sem a gyakorlati munkáknál nem hagyható figyelmen kívül.

Irodalom

- [1] AUJESZKY, L., BERÉNYI, D. & BÉLL, B.: Mezőgazdasági meteorológia. Akad. Kiadó. Budapest. 1951.
- [2] BACSÓ, N.: Magyarország éghajlata. Akad. Kiadó. Budapest. 1959.
- [3] BACSÓ, N.: Bevezetés az agrometeorológiába. 4. kiadás. Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1973.
- [4] BECKER, F.: Die Erdbodentemperaturen als Indikator der Versickerung. Meteorol. Z. Braunschweig. 54. 372—377. 1937.
- [5] BERÉNYI, D.: Mikroklimatologie. Akad. Kiad. Budapest. 1967.
- [6] GEIGER, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4. Aufl. Vieweg. Braunschweig 1961.
- [7] Időjárási Havijelentés. Orsz. Meteor. Int. Kiadványa. 88—98. Budapest. 1958—1968.
- [8] JENEY, Cs.: Die Veränderung der Bodentemperatur in Pflanzenbeständen bei verschiedenen Wetterlagen. Wiss. Z. Karl—Marx—Univ. Leipzig. Math. Naturwiss. R. 13. 831—839. 1964.
- [9] JENEY, Cs.: A talajhőmérséklet változásainak hatása a talaj-vízháztartás egyes jelenségeire. Egyetemi Doktori értekezés. Gödöllő. 1975.
- [10] JENEY, Cs.: A talajhőmérséklet dinamikus változásainak vizsgálata gödöllői adatsorok felhasználásával. ATE Mg. Tud. Karának Közleményei (Sajtó alatt) Gödöllő. 1976.
- [11] VARGA-H., Z.: A megművelt talaj hőmérséklete. Beszámoló az 1963-ban végzett tud. kutatásokról. Orsz. Meteor. Int. Kiadv. 27. k. II. rész. 108—112. 1964.

Érkezett: 1976. február 7.

The Effects of Changes in the Meteorological Conditions on Soil Temperature

CS. JENEY

University of Agricultural Sciences, Gödöllő (Hungary)

Summary

Temperature exerts a profound effect on the physical, chemical and biological processes taking place in the soil.

Under natural conditions soil temperature is determined by several meteorological and other factors (illumination, advection, precipitation, evaporation, soil type, etc.). So far relatively few investigations have been conducted both in Hungary and abroad to analyse the periodical changes in soil temperature.

The effects of changes in the meteorological conditions on soil temperature were analysed on the basis of data obtained in a weedless but undisturbed brown forest soil at Gödöllő. The recording of soil temperature and other meteorological factors was done in accordance with the usual practice of weather stations.

In the course of the investigations we studied the effects of various air-masses — which may be humid (≥ 5 mm) or dry (< 5 mm) cold fronts or warm air — on the changes in soil temperature during the extended growth season (from March to October). The duration of these effects, their depth of penetration and also the phase displacement of penetrating waves in deeper layers were investigated.

In order to evaluate the total effect during the growth season, we studied also the frequency of occurrence of various meteorological situations, establishing various categories according to their duration (at least 1 day) and to the accompanying changes in temperature (at least $\pm 2 - 4$ °C).

In the given situation types — on the basis of similar tendency of changes in soil- and air temperature — the temperature categories were established according to the daily mean values of air temperature.

The more important findings of the investigations are as follows:

1. The general characteristics of cold and warm advections in the changes of soil temperature are clearly reflected by the data of months selected appropriately.

2. It was established that it was the humid cold front that caused the greatest and the most lasting changes both in soil- and air temperature. The effect of dry cold fronts was less both in length of time and in depth of penetration. In the periods of warming up the temperature difference between the upper and deeper soil layers gradually increased.

3. The frequency distribution curves indicate that, as compared to dry cold fronts, the duration of humid cold fronts was longer and the accompanying drop in temperature greater. The length of the warming up periods, as compared to that of the cold snaps (both humid and dry) increased; this is indicative of the asymmetry of temperature waves.

Table 1. Deviation of soil temperature recorded in warm and cool spring months from the 10-years' average (1958 — 1968) in the given pentads and depths (°C). (1) Depth, cm. *a)* plain numbers refer to "warm" months, the underlined numbers to "cool" months.

Table 2. Deviation of soil temperature recorded in warm and cool summer months from the 10-years' average (1958 — 1968) in the given pentads and depths (°C). Captions: see Table 1.

Table 3. Deviation of soil temperature recorded in warm and cool autumn months from the 10-years' average (1958 — 1968) in the given pentads and depths. (°C). Captions: see Table 1.

Fig. 1. Soil temperature conditions in the months of a warm spring and of a cool spring. (Gödöllő-Szárifőpuszta). *a)* warm; *b)* cool. Vertical axis: depth, cm. Framed date: year of warm spring; frameless date: year of cool spring.

Fig. 2. Soil temperature conditions in the months of a warm summer and of a cool summer. Signs: see Fig. 1.

Fig. 3. Soil temperature conditions in the months of a warm autumn and of a cool autumn. Signs: see Fig. 1.

Fig. 4. Soil and air temperatures as affected by a humid cold front. Horizontal axis: days (hours, cloudiness, force and direction of wind). Vertical axis: temperature

(°C) and precipitation (mm). *a*) air temperature; *b*) soil temperature; *c*) precipitation; Force of wind; *d*) weak.

Fig. 5. Soil- and air temperatures as affected by a dry cold front. Signs: see Fig. 4.

Fig. 6. Soil- and air temperatures as affected by a period of warming up. Signs: see Fig. 4.

Fig. 7. Distribution curves of the cases of a humid cold front (A) and of a dry cold front without precipitation (B) as a function of duration and temperature difference (Gödöllő, 1958–1968) *a*) distribution curves according to temperature; *b*) distribution curves according to duration; *c*) number of cases; *d*) length of period, day; *e*) temperature difference, °C.

Fig. 8. Distribution curves of periods of warming up as a function of duration and temperature difference (Gödöllő, 1958–1968). Signs: see Fig 7.

Über die Wirkung einiger Wetterfaktoren auf die Bodentemperatur

CS. JENEY

Universität der Agrarwissenschaften, Gödöllő (Ungarn)

Zusammenfassung

Die Temperatur spielt bei der Regelung der im Boden stattfindenden physikalischen und chemischen, wie auch biologischen Vorgängen als eine der wichtigsten Charakteristiken eine bedeutende Rolle.

Unter den natürlichen Umständen kommt aber die den wirklichen Wärmezustand des Bodens bezeichnende Bodentemperatur als eine komplexe Resultante von zahlreichen Wetter- und anderen Wirkungen (Bestrahlung, Advektion, Niederschlag, Verdunstung, Bodentyp), usw. zustande. Man findet in der ungarischen, sogar in der internationalen Fachliteratur verhältnismässig wenig Untersuchungen, die sich mit der Analyse der aperiodischen Änderungen der Bodentemperatur befassen.

Die Analyse der infolge der Wetterveränderungen eintretenden Wirkungen auf die Bodentemperatur wurde in Gödöllő auf rostbraunem Waldboden, auf einer unkrautfreien und doch ungestört erhaltenen Fläche mit der Aufnahme von Datenreihen vorgenommen. Die Beobachtung der Bodentemperatur, wie auch der übrigen Wettererscheinungen (Lufttemperatur, Wolkenbildung, Wind, usw.) geschah auf die in den meteorologischen Stationen übliche Weise und zu den entsprechenden Zeitpunkten.

Im Laufe der Untersuchungen wurde eine Antwort auf die Frage gesucht, welche Wirkung die verschiedenen, zu uns eindringenden Luftmassen — die zum Teil Kälteeinbrüche mit (≥ 5 mm), oder ohne (< 5 mm) Niederschläge, zum Teil Wärmeströmungen sind — in der erweiterten Vegetationsperiode (III.—X. Monat) auf die Gestaltung der Bodentemperatur ausüben. Es wurde auch die Dauer dieser Wirkungen analysiert, deren Eindringung in die Tiefe, bzw. die Phasenverschiebung der sich nach unten, in die tieferen Bodenschichten bewegenden Wellen. Zwecks Beurteilung der Gesamtwirkung während der Vegetationsperiode wurde auch die Häufigkeit der Wetterverhältnisse verschiedenen Typs untersucht und die Fälle wurden entweder nach der Dauer (wenigstens ein Tag) oder der Grösse der begleitenden Temperaturveränderungen (wenigstens $\pm 2-4$ °C) in Kategorien eingeteilt. Die Temperaturkategorien der einzelnen typischen Wetterverhältnisse wurden — aufgrund der zwischen Boden- und Lufttemperatur bestehenden Korrelation — nach den Tagesdurchschnittswerten der Lufttemperatur ermittelt.

Die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen sind folgende:

1. Die allgemeinen Charakterzüge der Wirkung der kalten und warmen Advektion in der Gestaltung der Bodentemperatur sind schon aus den Angaben der geeignet ausgewählten Monate gut ersichtlich.
2. Sowohl in der Boden-, wie auch in der Lufttemperatur verursacht der kalte Luftenbruch mit Niederschlägen die grössten und am längsten andauernden Änderungen. Kälteeinbruch ohne Niederschlag ist von geringerer Dauer und dringt in geringere Tiefen ein. In den Erwärmungsperioden erhöht sich im allgemeinen ständig der Temperaturunterschied zwischen den oberen und unteren Bodenschichten.
3. Die Häufigkeits-Verteilungskurven zeigen, dass die Dauer und die damit verbundene Temperaturabnahme bei Kälteeinbrüchen mit Niederschlägen länger anhält, bzw. grösser ist als bei Einbrüchen ohne Niederschläge. Die Zeitdauer der Erwärmungs-

perioden nimmt im Vergleich zu den Abkühlungsperioden (mit oder ohne Niederschläge) zu, was auf die Asymmetrie der Temperaturwellen hinweist.

Tab. 1. Bodentemperaturabweichungen der warmen und kühlen Frühlingsmonate von den 10-jährigen Durchschnitten (1958-68), in den angegebenen Pentaden und Tiefen (°C). (1) Tiefe, cm. *a*) Die nicht unterstrichenen Ziffern bezeichnen die »warmen«, die unterstrichenen die »kühlen« Monate.

Tab. 2. Bodentemperaturabweichungen der warmen und kühlen Sommermonate von den 10-jährigen Durchschnittstemperaturen (1958-68), in den angegebenen Pentaden und Tiefen (°C). Bezeichnungen s. Tab. 1.

Tab. 3. Bodentemperaturabweichungen der warmen und kühlen Herbstmonate von den 10-jährigen (1958-68) Durchschnittstemperaturen, in den angegebenen Pentaden und Tiefen (°C). Bezeichnungen s. Tab. 1.

Abb. 1. Verhältnisse in der Bodentemperatur der Monate eines warmen und eines kühlen Frühlings (Gödöllő-Szárítópuszta). *a*) warm, *b*) kühl. Ordinate: Tiefe, cm. Die umrahmten Jahreszahlen bezeichnen die Jahreszahlen der kalten Monate, die nicht umrahmten diejenigen der warmen Monate.

Abb. 2. Verhältnisse in der Bodentemperatur der Monate eines warmen und eines kühlen Sommers (Gödöllő-Szárítópuszta). Zeichenerklärung: s. Abb. 1.

Abb. 3. Verhältnisse in der Bodentemperatur der Monate eines warmen und eines kühlen Herbstes (Gödöllő-Szárítópuszta). Zeichenerklärung: s. Abb. 1.

Abb. 4. Wirkung eines Kälteeinbruches mit Niederschlägen auf die Gestaltung der Boden- und Lufttemperatur. Abszisse: Tage (Stunden, Bewölkung, Windstärke und Windrichtung). Ordinate: Temperatur (°C), und Menge des Niederschlags, mm. *a*) Lufttemperatur; *b*) Bodentemperatur; *c*) Niederschlag; Windstärke: *d*) schwach, 1-2 B°; *e*) mittelmässig, 3-4 B°; *f*) stark, 5-6 B°; *g*) stürmisch, 7 < B°; *h*) Bewölkungsstärke, in Zehnteln.

Abb. 5. Wirkung eines Kälteeinbruches ohne Niederschlag auf die Gestaltung der Boden- und Lufttemperatur. Zeichenerklärung: s. Abb. 4.

Abb. 6. Wirkung einer Erwärmungsperiode auf die Gestaltung der Boden- und Lufttemperatur. Zeichenerklärung: s. Abb. 4.

Abb. 7. Verteilungskurven von Fällen des Kälteeinbruchs mit Niederschlag (A), und des Kälteeinbruchs ohne Niederschlag (B) als Funktion der Zeitdauer und der Temperaturabweichung (Gödöllő, 1958-68). *a*) Verteilungskurven nach der Temperatur; *b*) Verteilungskurven nach der Zeitdauer; *c*) Anzahl der Fälle; *d*) Dauer der Zeitperiode, Tag; *e*) Temperaturunterschied, °C.

Abb. 8. Verteilungskurven der Fälle der Erwärmungsperioden als Funktion der Zeitdauer und des Temperaturunterschiedes (Gödöllő, 1958-68). Zeichenerklärung: s. Abb. 7.

Влияние изменения погоды на температуру почвы

Ч. ЙЭНЭИ

Аграрный Университет Гёдёллэ (Венгрия)

Резюме

Температура является одним из важнейших физических показателей почвы и играет большую роль в регулировании физических, химических, а также биологических процессов.

В природных условиях температура почвы, отражающая ее тепловое состояние, возникает под комплексным влиянием многочисленных погодных и других факторов (освещение, адвекция, осадки, испарение, тип почвы и т. д.)

Не только в венгерской специальной литературе, но и в иностранной литературе встречается сравнительно мало данных в отношении изучения периодического изменения температуры почвы.

Влияние изменения погодных условий на температуру почвы изучали в Гёдёллэ на ржаво-бурой лесной почве (без сорняков, но с ненарушенной структурой), используя для этого ряд измерений. Наблюдения за температурой почвы, а также за другими элементами погоды (температура воздуха, облачность, ветер и т. п.) проводили на метеорологической станции обычными методами и в обычное время.

В ходе исследований искали ответ а на вопрос, какое влияние оказывают на температуру почвы различные воздушные массы, приходящие за вегетационный период (III.—X.), которые могут быть с осадками (≥ 5 мм) и без осадков (> 5 мм) холодные или теплые воздушные массы. Изучали продолжительность их влияния, влияние на глубину изменения температуры почвы. С целью определения суммарного влияния за вегетационный период изучали частоту различных изменений погоды, категоризируя по продолжительности (минимум один день) и по влиянию на изменение температуры (по крайней мере $\pm 2-4^\circ\text{C}$). В отдельных типичных случаях, на основании одинаковых тенденций, наблюдаемых между температурой почвы и температурой воздуха, температурные категории установили по средним значениям дневных температур воздуха.

Из результатов проведенных исследований можно сделать следующие наиболее важные выводы:

1. Общие характерные черты влияния холодной и теплой адвекции на температуру почвы хорошо видны из данных наблюдений, проведенных в правильно выбранные месяцы.
2. Холодные, влажные воздушные массы вызывают самые значительные и стойкие изменения как в температуре почвы, так и в температуре воздуха. Влияние холодных масс воздуха без осадков менее продолжительное и проявляется на меньшую глубину. В теплые периоды обычно постепенно увеличивается разница между температурой верхних и нижних горизонтов почвы.
3. Кривые распределения частоты показывают, что влияние холодных воздушных масс с осадками более продолжительное и снижение температуры почвы более длительное и значительное, чем при вторжении холодных, без осадков воздушных масс. Продолжительность периода нагревания по сравнению с периодом охлаждения (с осадками и без осадков вместе) увеличивается, что указывает на асимметрию температурных волн.

Табл. 1. Расхождение температуры почвы теплых и прохладных весенних месяцев от средних десятилетних данных (1958—1968) в указанных пентадах и на указанных глубинах ($^\circ\text{C}$). (1) Глубина в см. а) Подчеркнутые цифры относятся к «теплым», не подчеркнутые цифры — к «прохладным» месяцам.

Табл. 2. Расхождение температуры почвы теплых и прохладных летних месяцев от средних десятилетних температур (1958—1968), в указанных пентадах и на указанных глубинах в $^\circ\text{C}$. Обозначения смотри в таблице 1.

Табл. 3. Расхождение температуры почвы теплых и прохладных осенних месяцев от средних десятилетних температур (1958—1963), в указанных пентадах и на указанной глубине ($^\circ\text{C}$). Обозначения смотри в таблице 1.

Рис. 1. Температура почвы одного теплого и одного прохладного весеннего месяца (Гёдёллэ-Саритопуста). а) Теплый. б) Прохладный. По вертикальной оси: глубина в см. Обрамленная дата — год с прохладными месяцами, необрамленная дата — год с теплыми месяцами.

Рис. 2. Температура почвы одного теплого и одного прохладного летнего месяца (Гёдёллэ-Саритопуста). Обозначения смотри на рисунке 1.

Рис. 3. Температура почвы одного теплого и одного прохладного осеннего месяца (Гёдёллэ-Саритопуста). Обозначения смотри на рисунке 1.

Рис. 4. Влияние вторжения влажных, холодных воздушных масс на температуру почвы и воздуха. По горизонтальной оси: дни/часы, облачность, сила ветра и направление ветра. По вертикальной оси: температура ($^\circ\text{C}$) и количество осадков в мм. а) Температура воздуха; б) температура почвы; в) осадки; г) Сила ветра: д) слабый ветер $1-2 \text{ В}^\circ$, е) средний, $3-4 \text{ В}^\circ$; ф) сильный, $5-6 \text{ В}^\circ$; г) вихревой, $7 > \text{В}^\circ$; h) облачность, в десятках.

Рис. 5. Влияние вторжения холодных без осадков воздушных масс на температуру почвы и воздуха. Обозначения смотри на рисунке 4.

Рис. 6. Влияние периода нагревания на температуру почвы и воздуха. Обозначения смотри на рисунке 4.

Рис. 7. Кривые распределения частоты вторжения холодных, влажных (А) и холодных сухих (В) воздушных масс в зависимости от продолжительности и разницы температур (Гёдёллэ, 1958—1968). а) Кривые распределения по температурам; б) кривые распределения по времени; в) число случаев; д) продолжительность периода, день; е) разницы температур, $^\circ\text{C}$.

Рис. 8. Кривые распределения теплых периодов года в зависимости от продолжительности и разницы температур (Гёдёллэ, 1958—1968). Обозначения смотри на рисунке 7.