

SZAKMAI ZÁRÓJELENTÉS

Műholdas fenológiai megfigyelések módszertani megalapozása ökológiai rendszer globális változásra adott reakciójának detektálására (OTKA 81979)

2010. április 1. – 2014. november 30.

Projektünk előzetes célkitűzéseinek megfelelően a kutatási munkálatok a négy év során három fő téma köré csoportosultak. Elsőként összegyűjtöttük az Országos Meteorológiai Szolgálat archív növényfenológiai adatait, melyekből különböző feldolgozásokat készítettünk. Kisebb, ötfős felszíni megfigyelőhálózatot szerveztünk, melynek észlelési eredményeit műholdas adatokkal vetettük össze. Emellett a műholdas vegetációs index (EVI) értékek segítségével meghatároztuk a „tájképi fenológiai” fázisok időpontjait. Az elért eredményeket, valamint a munka során előállt nehézségeket az alábbiakban mutatjuk be.

ARCHÍV ADATBÁZISOKBÓL KÉSZÜLT FELDOLGOZÁSOK

A pályázat első éve a fennmaradt növényfenológiai feljegyzések összegyűjtésével, és az első feldolgozások elkészítésével telt. Hamar szembesülnünk kellett azonban azzal a ténnyel, hogy az archív anyagok feltérképezése, az ezekből adódó kutatási lehetőségek teljes körű megfogalmazása a vártnál sokkal több időt vesz igénybe: a rendszer nélkül tárolt és az idők során jelentős veszteségeket szenvedett feljegyzések megismerése ezért a projektet végig kísérte.

Az archív adatok egy részének felhasználásához elektronizált adatbázisokat állítottunk elő, melyekből több feldolgozás született. Az 1983-2000 közötti időszak adatai közül kiválasztottuk azokat a megfigyelőhelyeket (17 db), melyekre vonatkozóan legalább 15 évnyi megfigyelési eredmény elérhető. Tekintettel arra, hogy pályázatunk a klímaváltozás detektálását célozza, az adatbázisból a vadnövényfenológiai adatokat választottuk ki. A fenofázisok átlagos időpontjait térképeken jelenítettük meg, így képet kaptunk az országos területi eloszlásról.

Ezen kívül 5 olyan megfigyelőhelyre, ahol legalább 17 évnyi megfigyelés állt rendelkezésre, trendvizsgálatokat végeztünk a fenofázisok időpontjainak alakulására vonatkozóan a következő növényekre: kislevelű hárs (*Tilia cordata*), fehér akác (*Robinia pseudoacacia*), orgona (*Syringa vulgaris*), fekete bodza (*Sambucus nigra*), gyermekláncfű (*Taraxacum officinale*), gyöngyvirág (*Convallaria majalis*), mezei katáng (*Cichorium intybus*). Vizsgált fenofázisok: levélkezdés, virágzás kezdete, levélhullás kezdete. A vizsgálatok eredményei szerint öt megfigyelőhelyből legalább négy esetben azonos irányú trend látható. Negatív trend: akác levélkezdés (SL) 1 esetben szignifikáns; akác virágzáskezdés (BF) 3 esetben szignifikáns; bodza virágzáskezdés (BF) 2 esetben szignifikáns; pitypang virágzás (FL) 4 esetben szignifikáns; mezei katáng virágzás (FL) 4 esetben szignifikáns. Pozitív trend: hárs levélhullás (FO) egyik sem szignifikáns (Érsekvadkert: negatív trend szignifikáns); akác levélhullás (FO) 1 esetben szignifikáns; bodza levélhullás (FO) 2 esetben szignifikáns.

Következő lépésként rögzítésre kerültek az Évkönyvek 1961-1981 közötti növényfenológiai adatai, emellett az 1952-1966 közötti időszak alma észlelései is elektronikus adatbázisba kerültek. Az OMSZ Évkönyvek 1961-1981 közötti és az OMSZ-MÉM-NAK adatbázis 1983-2000 közötti vadnövényfenológiai feljegyzéseinek felhasználásával újabb térképeket készítettünk. Tekintettel arra, hogy az 1983-2000 között működő megfigyelő

hálózatban csak 7 vadnövény szerepelt, a korábbi időszakból is az ezekre vonatkozó adatokat gyűjtöttük ki, és minden növénynél a virágzás kezdete fenofázist vizsgáltuk.

Térképeinken a fenológiai törvényszerűségek mellett a két adatbázis eltérései is láthatóvá váltak: az 1961-1980 közötti időszakot jellemző kiterjedt állomáshálózatnak köszönhetően ebből a periódusból látványosan részletesebb térképek állhattak elő, mint a későbbi időszakról, mikor a vadnövény-fenológiáról a mezőgazdasági növények megfigyelésére tevődött a hangsúly és emellett a megfigyelőhelyek számában is nagy változások történtek. A térképek részletességétől függetlenül a teljes időszakot vizsgálva számos következtetést levonhatunk a vizsgált növényekre vonatkozóan. Legfontosabb megállapításként említhetjük, hogy az esetek többségében a virágzás kezdetének legkorábbi időpontjai az ország DK-i sarkában jelennek meg, a legkésőbb pedig az É-ÉNy-i részekben következik be a fenofázis. Az interpolációs módszer nem tartalmaz magassági korrekciót, ugyanakkor a magasabban fekvő területek későbbi virágzási időpontjai kirajzolódnak a térképeken. A legtöbb vizsgált vadnövény esetén a virágzás kezdetének korábbra tolódását is egyértelműen kijelenthetjük. Leghatározottabb tendencia a gyermekláncfűnél és a fekete bodzánál figyelhető meg.

Rögzítésre kerültek később az 1953-1961 közötti Évkönyves adatok is, ezek ma már szintén az elektronizált adatbázis részét képezik. Az 1983-2000 közötti feljegyzések esetén a fenofázisokat jelentő kódokat megfeleltettük a nemzetközi szakirodalomban alkalmazott BBCH skála megfelelő értékeinek, melyhez részletes útmutató is készült.

Pályázatunk során a fenológiai fejlődés modellezésével is foglalkoztunk az archív adatok felhasználásával. A növények fenológiai fejlődésének meteorológiai vezérlő változókkal történő modellezése a figyelembe vett fenofázisokat valamint a paramétereket tekintve minden esetben növény-specifikus. A modell szerkezete azonban általánosítható.

A tavaszi időszakban a léghőmérséklet meghatározó meteorológiai tényező. A legfontosabb feltételezés, hogy az egyes években, illetve az egyes helyeken a fenofázis bekövetkezésének időpontja megmagyarázható a napi középhőmérsékletben illetve egy bizonyos időponttól számított hőmérsékleti összegben mutatkozó különbségekkel. Kutatásunkban kombináltuk a dinamikus és statisztikus megközelítéseket: a modell alapján dinamikus, de a paramétereket statisztikai módszerekkel állítottuk elő. A modell parametrizálásához és validálásához az 1983-2000 évekből rendelkezésre álló fenológiai adatsorokat használtuk. A rendelkezésre álló adatokból a vadnövény fenológiai megfigyelésekre koncentráltunk, mivel a termesztett növények esetében a fajta, a vetés időpontja és az agrotechnika jelentős mértékben meghatározza a fenológiai fejlődés és az időjárás kapcsolatát, így, ha az időjárási illetve hosszabb távon a klimatikus hatások kimutatására törekszünk, akkor azonos megfigyelőhelyről származó azonos növény fajra/fajtára vonatkozó hosszabb adatsorra van szükségünk.

Eredmények: A modell által számított és a megfigyelt fenofázis időpontok regresszió analízise azt mutatta, hogy a modell mintegy 80-85 százalékban magyarázza meg az egyes fenofázisok bekövetkezésének időpontját az SL és BF fázisoknál. A standard hiba 6-7 nap az SL fázis esetében, 3-4 nap a BF fázis esetében. Az FO fázis – azaz a levélhullás bekövetkezése nem mutat jelentős változékonyságot, de a folyamat napi bontású modellezése, tekintettel a virágzás kezdetétől a levélhullásig tartó időszak hosszú tartamára, nem túl sikeres. Ebben az esetben más megközelítés szükséges.

FELSZÍNI MEGFIGYELŐ-HÁLÓZAT

A terveknek megfelelően az első évben megkezdtuk az ötfős észlelőhálózat megszervezését. Agrárvégzettségű szakembereket kértünk fel a feladatra. A vonatkozó szakirodalom azt sugallta, hogy a hagyományos növény-fenológiai megfigyelő-hálózatok stabil, hosszú távú

működtetése reménytelen vállalkozás, mely megállapítást későbbi tapasztalataink is alátámasztottak. Ezért a felszíni megfigyelési eredményeket kifejezetten a műholdas adatok kalibrálására használtuk fel.

Öt mintaterületet jelöltünk ki az ország területén, melyeken az alábbi növények megfigyelését kértük észlelőinktől: kukorica (*Zea mays* – korai fajta, közepes fajta, késői fajta), szőlő (*Vitis vinifera* – korai fajta, közepes fajta, késői fajta), búza (*Triticum aestivum* – korai fajta, közepes fajta, késői fajta), árpa (*Hordeum vulgare* – korai fajta, közepes fajta, késői fajta), rozs (*Secale cereale* – korai fajta, közepes fajta, késői fajta), repce (*Brassica napus* – korai fajta, közepes fajta, késői fajta), napraforgó (*Helianthus annuus* – korai fajta, közepes fajta, késői fajta), bükk (*Fagus sylvatica*), gyertyán (*Carpinus betulus*), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), akác (*Robinia pseudoacacia*), fekete és/vagy fehér nyaras (*Populus* spp.), keskenylevelű ezüstfa (*Elaeagnus angustifolia*).

Az észlelés és az adatgyűjtés 2011. május 1-jével kezdődött meg. Később, a pályázat évei során az észlelők személye körül történt változások miatt több megfigyelőhely is megváltozott, illetve problémát jelentett, hogy észlelőink rendes munkaidejükön kívül, szabadidejük terhére végezték a kijelölt feladatot, mely szintén rányomta a bélyegét a munkára.

Annak érdekében, hogy a 2013-as évről is gyűjthessünk megfigyelési adatokat, a felszíni megfigyeléseket kiterjesztettük a 2013-as évre is. A beérkezett eredmények kiértékelését ugyanakkor csak a tenyészdíszidőszak befejeződését követően, 2014 januárjában kezdhettük meg, ezért pályázatunk meghosszabbítását kértük az OTKA Irodától.

Ahogy a projekt során végig, az utolsó észlelési évben is szembesültünk a megfigyelések kivitelezésének nehézségeivel: ravazdi észlelőnk munkahelyi változások miatt sajnos nem tudta tovább vállalni pályázatunkhoz fűződő feladatait, helyére új észlelőt találnunk nem sikerült.

MŰHOLDAS FELDOLGOZÁSOK

A felszíni megfigyelőhálózat fentebb említett nehézségei miatt a műholdas adatfeldolgozás az évek előrehaladtával egyre jelentősebb területté vált pályázatunkon belül.

Már az első adatletöltésekkel világossá vált, hogy a műholdas megfigyelésekből nem a hagyományos fenológiai fázisok megfigyelésére van lehetőség, hanem egy úgynevezett tájképi fenológiai skála alkalmazása szükséges. Ezek alapján a „tavasz kezdete”, „nyár kezdete”, „ősz kezdete” és „tél kezdete” állapotok jelennek meg, melyekhez a növényfenológiai adatok társítása volt a feladat. Az Aqua és a Terra műholdakon elhelyezett MODIS műszer által érzékelt reflektanciákból számított, 250 m-es felbontású 16 napos időszakokra kompozitált „Enhanced Vegetation Index” (EVI) mutatót választottuk további kutatásainkhoz, mely kiszűri a légköri módosító tényezőket és a talaj hatását. A kompozitálási időszak a két műholdra vonatkozóan 8 napos átfedésben van. Az adatok a NASA adatbázisából letölthetők, így 8 napos gyakorisággal álltak rendelkezésre a 2003-2012 közötti időszakban. 5 db 5x5 km nagyságú mintaterületet választottunk ki a felszíni megfigyeléseinkhez igazítva (Szenna, Felpéc, Kunbaja, Iklad, Nyíregyháza), így 250 m-es felbontásban területenként és időpontonként 441 pixelt kezdtünk elemezni. Minden egyes területen a felszínborítottság vegyes volt (szántóföldi parcellák, erdős területek, családi házas lakóövezetek).

A cél az volt, hogy a kiválasztott mintaterületeken részletesen elemezzük az EVI értékek változékonyságát mind térben, mind időben, s ebből következtetéseket vonjunk le a vegetáció dinamikájára vonatkozóan. A megfelelő pixelek kiválasztása után megkezdtük azokat a vizsgálatokat, melyek alapján a műholdas fenofázisok, azaz a tájképi fenológia megfelelő időpontjai beazonosíthatóvá váltak (zöldülés kezdete F1, zöld állapot

maximumának kezdete F2, zöld állapot csökkenésének kezdete F3, zöld állapot vége F4). Ezen időpontok meghatározása az EVI évi menet két logisztikus függvénnyel való közelítésével történik, egyiket a növekedési, a másikat a csökkenési időszakra. A logisztikus függvény mellett azért döntöttünk, mert ez az a típusú görbe, amelyen bizonyos markáns pontként megjeleníthetők az évi menetben beálló változások, amik kapcsolatba hozhatók a vegetáció fejlődés dinamikájával. Ezeket a markáns pontokat a logisztikus függvény görbületének időbeli változását leíró függvény lokális szélsőértékeiként kapjuk meg, ezek felelnek meg egy-egy tájképi fenológiai fázisnak.

Az így kapott tízéves műholdas adatsor alapján elmondható, hogy az F1 fenofázis Szenna és Kunbaja térségében mutatott 10%-on szignifikáns csökkenő trendet (korábbra tolódás -13 illetve 16 nap/10 év), a többi térségben nem volt szignifikáns trend. Az F2 fenofázis egyedül Kunbaja térségében mutatott 10%-on szignifikáns csökkenő trendet (korábbra tolódás -16 nap/10 év). Az F3 fenofázis Iklad térségében mutatott 10%-on szignifikáns növekvő trendet (későbbre tolódás +24 nap/10 év). Az F4 fenofázis is csak Iklad térségében mutatott szignifikáns növekvő trendet (későbbre tolódás +21 nap/10 év). Felpéc és Nyíregyháza térségében egyik fenofázis bekövetkezési időpontját illetően sem volt megállapítható szignifikáns trend.

Az egyes fenofázisok közötti időtartam alakulása több szempontból is jelentőséggel bír. Az F4 és F1 fenofázis időpontok különbsége a teljes vegetációs időszakot jelenti; az F2 és F1 különbsége a kitavasodás ütemét mutatja, az F3 és F2 különbsége pedig azt az időtartamot, mialatt a vegetáció teljes intenzitáson „üzemel”. Ezeknek az időtartamoknak a tendenciaszerű megváltozása egyrészt jelentős ökológiai következménnyel bír, másrészt a légkör és a felszín közötti kölcsönhatás következtében visszahat a klimatikus tényezőkre is. Megvizsgáltuk tehát az egyes időtartamok időbeli alakulását a kijelölt térségekben. Az F4-F1, vagyis a vegetációs időszak teljes hossza tekintetében Felpéc kivételével mindenhol legalább 10%-on szignifikáns növekvő trendet tapasztaltunk.

A HAGYOMÁNYOS ÉS A MŰHOLDAS EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

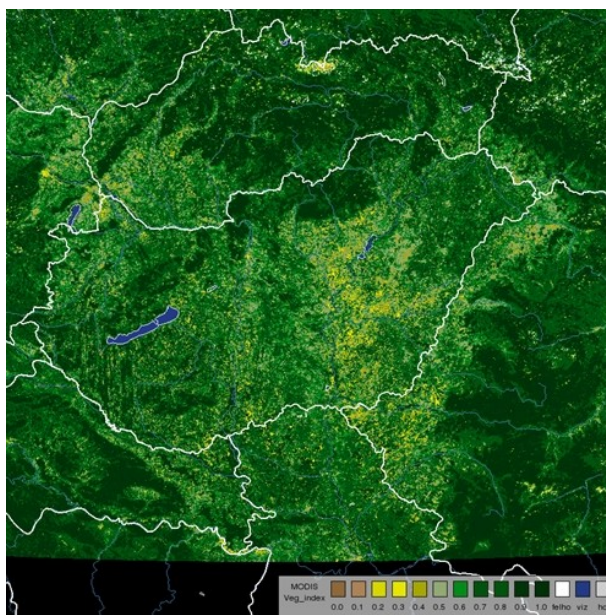
Összevetettük a hagyományos fenológiai megfigyelések eredményeit az EVI értékekkel, melyhez az Iklad térségéből származó, pixel-szintű adatokat használtuk fel.

A következő megállapításokat tehetjük. A természetes vegetációt alkotó fák esetében a három vizsgált faj közül leghamarabb a nyárfa (*Populus spp*) virágzása következett be, és ennek időtartama az adott pixelre jellemző EVI menet felívelő szakaszának kezdetére volt tehető. Időben ezt követte a tölgy virágzása (*Quercus petraea*), melynél a virágzás időtartama már az adott pixel EVI menetét tekintve a maximális zöldülés kezdetével esett egybe, míg időben később következett az akác (*Robinia pseudacacia*) virágzása, melynél nem volt egyértelmű a virágzás időtartamának és a vonatkozó EVI értékek menetének viszonya. 2011-ben az EVI menetében a virágzás időtartama alatt átmeneti csökkenés volt kimutatható, de 2012-ben a virágzás időtartama kevéssel megelőzte a maximális zöld állapot bekövetkeztét.

A mezőgazdasági növények közül az őszi búza (*Triticum aestivum*), kukorica (*Zea Mays*), és napraforgó (*Helianthus annuus*) megfigyelt fenofázisait vizsgáltuk. Természetesen az EVI értékektől nem vártuk, hogy tükrözzék a mezőgazdasági növények fenológiai megfigyelésében jellemző rendkívüli részletességet. A virágzásra, illetve a betakarításra összpontosítottunk – ezek azok a fázisok, melyek olyan morfológiai változással járnak, amik a műhold távlatából is „láthatóak”. A három vizsgált növény közül az őszi búza virágzása következik be leghamarabb, vonatkozó pixel EVI értéke a virágzás után rohamosan csökken. Időben a következő a kukorica virágzása, melyet nem követ az EVI értékek csökkenése, még 25-30 napig az EVI érték mintegy topon van, a napraforgó esetében következik be legkésőbb a virágzás és ezt az EVI értékek drasztikus csökkenése követi. A kukorica és a napraforgó

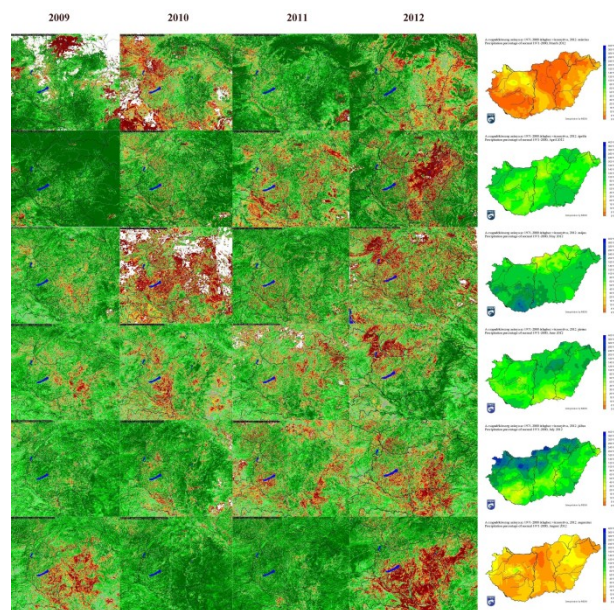
fejlődése az EVI értékek alapján a virágzásig jól együtt halad, ezt követően azonban szétválik, és míg a kukorica sokáig zöld marad (magasabb EVI értékeket mutat), addig a napraforgó a virágzás utáni időszakban, minden bizonnyal az ún. reglonozás következtében gyorsan szárad, ami alacsonyabb EVI értékeket jelent.

Összefoglaló megállapításként azt mondhatjuk, hogy noha a részletes fenológiai megfigyelésre a műholdas vegetációs indexek (EVI, NDVI) nem alkalmasak, de a vegetáció fejlődésének nyomon követésére még az egyes növényfajok esetében is van lehetőség. Jórészt a fenti vizsgálatok eredményeiből kiindulva létrehoztuk az Országos Meteorológiai Szolgálat saját műholdas adataiból meghatározott NDVI értékek adatbázisát. Ennek segítségével a magyarországi vegetáció pillanatnyi állapotát az átlagos értékhez viszonyítva tudjuk bemutatni.



1. ábra

16 napos MODIS EVI értékek (2014-06.18)



2. ábra NOAA/AVHRR NDVI anomália képek (OMSZ)

EGYÉB EREDMÉNYEINK

A pályázat évei alatt sokszor kellett szembesülnünk azzal, hogy a kutatások alapját jelentő archív feljegyzések jó része sajnálatos módon elveszett az intézményt érintő átszervezések során, illetve a még meglévő anyagok sincsenek rendszerezetten tárolva. Ezért fokozatosan arra az elhatározásra jutottunk, hogy – bár pályázatunk vállalásai között nem szerepel hasonló – a kutatómunka során tudomásunkra jutott információkat, észlelési eredményeket rendszerezett formában, részletes statisztikákkal ellátott CD kiadványon konzerváljuk az elkövetkező idők számára. Kezdetben kizárólag az OMSZ anyagait gyűjtöttük, azonban később a kiadvány kiterjesztése mellett döntöttünk, mivel nem tudunk olyan hazai összefoglaló munkáról, mely kifejezetten a hazai tudományterület elért eredményeit és még fellelhető forrásait összegezná. Az eredeti elképzelésekhez képest jelentősen kiterjedtebb anyag összeállításával 2015 első felében végzünk, részei pedig a következők.

A kiadvány két fejezetből áll. Az első fejezet kizárólag belső felhasználású, mely az OMSZ mai napig fellelt összes növényfenológiai anyagát tartalmazza. Adatbázis és faj szerint kategorizálva szerepel az összes papír alapú észlelőlap szkennelt formában, és a jelenleg elérhető összes elektronizált adatbázis is helyet kapott. Harmadik alfejezetként igen részletes statisztikák lesznek elérhetőek az elektronizált részekről (fajtánkénti, fázisonkénti és

megfigyelő helyenkénti gyűjtés), és körvonalazó statisztikák a papíros adatbázisokról. Végül rákerülnek a kiadványra az OMSZ Könyvtárában eddig fellelt, növényfenológiai témakörű publikációk könyv, atlasz, különlenyomat, cikk, konferencia kiadvány kategóriák szerinti bontásban.

A kiadvány célja egy rendszerezett, átlátható és gyorsan kereshető archív adatbank megvalósítása, a már létrehozott ismeretanyag megőrzése, illetve – a részletes statisztikák révén – az OMSZ fenológiai tevékenységének ismét köztudatba hozása.

A kiadvány második fejezetében a teljes magyarországi növényfenológia számára igyekeztünk egy bázist létrehozni. Megkíséreltük összegyűjteni a hazai adatbázisokat. Minden együttműködő intézmény külön könyvtárban közli az általa publikálni kívánt anyagot, mely legtöbb esetben egy összefoglaló leírás az adott helyen fellelhető adatbázis paramétereiről. Ezen kívül összeállítottuk a növényfenológia területén publikációt megjelentető kutatók névsorát, külön alfejezetben pedig az egyes – erre vállalkozó – kutatók publikációs listái is felkerültek a kiadványra. Mivel idővel egy-egy írás fellelése nehezebb lehet, konkrét publikációkat is gyűjtöttünk.

Nyilvánvalóan nem sikerülhetett a fenológia minden képviselőjével felvennünk a kapcsolatot, ugyanakkor a kiadványt rugalmasan bővíthető összefoglalóként képzeljük el. Ennek értelmében továbbra is várjuk azon intézmények és/vagy magánszemélyek jelentkezését, akik növényfenológiai megfigyeléseket végeztek, vagy végeznek, és munkájukról szívesen hírt adnának (a konkrét adatok szolgáltatása nem feltétel). Várjuk továbbá azon kutatók publikációs listáit és konkrét publikációit is, akik az első összefoglalóról sajnálatos módon lemaradtak.

CD kiadványunkon kívül nyomtatott brossurában is hírt adunk pályázatunk eredményeiről.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az OTKA 81979 nyilvántartási számú pályázati támogatás lehetővé tette számunkra, hogy az európai nemzeti meteorológiai szolgálatok hagyományos tevékenységi körébe tartozó növényfenológiai megfigyelések, melyek sajnálatos módon hazánkban 1999-ben lezárultak, újra előtérbe kerülhessenek. A témával kapcsolatos nemzetközi kutatások ugyanis az utóbbi évtizedben, a klímaváltozáshoz kapcsolódóan felerősödtek, megsokszorozódtak. Kutatócsoportunk munkája három fő irány szerint haladt.

Menteni próbáltuk a még meglévő, de adatbázisba nem szervezett feljegyzéseket- ebből CD kiadványt készítünk.

Áttekintettük néhány vadnövény vonatkozásában az 1961-1999 időszakra az egyes fenofázisok bekövetkezésének időpontja területi megoszlásának dekádonkénti változását.

Műholdas vegetációs index alapján tanulmányoztuk az utóbbi tíz évre vonatkozóan a vegetáció dinamika alakulását, változását. Ezzel kapcsolatosan kimutatható volt a vegetációs időszak hosszának trendszerű növekedése.

Kiderült számunkra, hogy országos méretű fenológiai megfigyelő-hálózat újraszervezése és üzemeltetése olyan anyagi és humán erőforrás igényű, mely meghaladja egy kutatási projekt kereteit.