

Wpłynęło 28.10.2011 r.
Zrecenzowano 27.03.2012 r.
Zaakceptowano 13.04.2012 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA DANYCH SATELITARNYCH DO WYZNACZANIA POCZĄTKU I KOŃCA OKRESU WEGETACYJNEGO

Marcin SIŁUCH¹⁾ ABDF, Krzysztof BARTOSZEK²⁾ ACDE

¹⁾ Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Zakład Meteorologii i Klimatologii

²⁾ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Pracownia Agrometeorologii

Streszczenie

Celem pracy jest ocena możliwości wykorzystania danych satelitarnych do określania dat początku i końca okresu wegetacyjnego. Analizowane charakterystyki zostały wyznaczone na podstawie wartości wskaźnika wegetacji Enhanced Vegetation Index (*EVI*) oraz obrazów satelitarnych o rozdzielczości przestrzennej 500 m, pochodzących ze skanera MODIS (produkt MOD12Q2). Stosując tę metodę, daty początku i końca okresu wegetacyjnego wyznaczono dla obszarów w promieniu 10 km od miejsca położenia trzech posterunków meteorologicznych na terenie Lubelszczyzny: Czesławice k. Nałęczowa, Felina (wschodnia część Lublina) oraz Bezka k. Chełma. Okres badań obejmował lata 2001–2009, zaś daty odnosiły się do wybranych rodzajów pokrycia terenu (gruntów ornych, łąk i lasów). Stwierdzono, że na podstawie danych wyznaczonych na bazie wskaźnika *EVI* okres wegetacyjny trwał średnio o miesiąc krócej w stosunku do charakterystyk, obliczonych metodami tradycyjnymi, tj. Gumińskiego i Huculaka-Makowca. Ponadto początek okresu wegetacyjnego, wyznaczonego metodą teledetekcyjną, był istotnie statystycznie skorelowany ze średnią wartością temperatury powietrza w okresie styczeń–marzec oraz z liczbą dni z pokrywą śnieżną od grudnia do marca. Z kolei daty końca okresu wegetacyjnego wykazywały największą współzmiennność z sumami promieniowania całkowitego we wrześniu

Słowa kluczowe: Lubelszczyzna, metoda teledetekcyjna, okres wegetacyjny, wskaźniki wegetacji

WSTĘP

Dane pozyskiwane za pomocą technik satelitarnych mają zasadniczą przewagę nad tymi, które otrzymuje się w sposób standardowy [SIŁUCH, KASZEWSKI 2010].

Adres do korespondencji: dr K. Bartoszek, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Pracownia Agrometeorologii, ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin; tel. +48 81 445-66-29, e-mail: krzysztof.bartoszek@up.lublin.pl

Pomiary punktowe są prowadzone w specjalnie do tego celu przeznaczonych stacjach badawczych lub podczas badań patrolowych na stosunkowo niewielkim obszarze. Wykorzystanie danych teledetekcyjnych umożliwia natomiast prowadzenie badań na znacznych obszarach w tym samym momencie. Dodatkowym atutem badań satelitarnych jest ich niezależność od czynnika ludzkiego, tj. od umiejętności oraz odpowiedniego przeszkolenia obserwatora.

Zmienność przestrzenną pokrycia terenu dobrze charakteryzują wskaźniki wegetacji, które umożliwiają między innymi określenie kondycji roślinności. Optyczne właściwości roślin są charakteryzowane przez emisyjność, absorpcję, odbicie i przepuszczalność promieniowania elektromagnetycznego. Cechy te zależą ściśle od długości fali [HUETE i in. 2002].

Do analiz cech roślinności najczęściej wykorzystuje się pasmo widzialne promieniowania elektromagnetycznego oraz pasmo bliskiej podczerwieni. Do czynników, które decydują o charakterystykach odbiciowości w tym zakresie spektrum promieniowania, zalicza się przede wszystkim zawartość wody i składników odżywczych oraz barwniki naturalne, zawarte w liściach roślin. Jednym ze wskaźników, najlepiej oddających rzeczywisty stan roślinności, jest wskaźnik Enhanced Vegetation Index (*EVI*).

Celem niniejszej pracy jest ocena użyteczności określania dat początku i końca okresu wegetacyjnego metodą teledetekcyjną (na podstawie danych satelitarnych). Uzyskane wartości zostały porównane z datami, wyznaczonymi za pomocą dwóch metod tradycyjnych, tj. zaproponowanych przez GUMIŃSKIEGO [1948] oraz HUCULAKA i MAKOWCA [1977]. Ponadto zbadano współzmienną dat, wyznaczonych metodą teledetekcyjną, z wartościami wybranych elementów meteorologicznych.

METODY BADAŃ

W niniejszej pracy daty początku i końca okresu wegetacyjnego w latach 2001–2009 określono metodą teledetekcyjną na podstawie wartości wskaźnika wegetacji *EVI*, obliczanego wg wzoru [LIU, HUETE 1995]:

$$EVI = 2,5 \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{(L + R)_{NIR} + C_1 R_{RED} - C_2 R_{BLUE}} \quad (1)$$

gdzie:

- R_{NIR} – odbiciowość w paśmie podczerwonym;
- R_{RED} – odbiciowość w paśmie czerwonym;
- R_{BLUE} – odbiciowość w paśmie niebieskim;
- L – współczynnik wpływu podłoża na odbiciowość;
- C_1 – współczynnik osłabienia promieniowania czerwonego przez aerozol;
- C_2 – współczynnik osłabienia promieniowania niebieskiego przez aerozol.

Wartości obliczono dla każdego roku z uwzględnieniem dat początku zwiększania i zmniejszania się, a także wartości maksymalnych i minimalnych wskaźnika *EVI* [ZHANG i in. 2003]. Daty początku zwiększania i zmniejszania się wartości wskaźnika *EVI* określono z zastosowaniem algorytmu według SCHAAF i in. [2002], bazując na obrazach satelitarnych o rozdzielczości przestrzennej 500 m, które pochodziły ze skanera MODIS (produkt MOD12Q2¹).

Algorytm wykorzystany do stworzenia produktu MOD12Q2 odnosi się przede wszystkim do określenia wartości wskaźnika *EVI* na podstawie danych, dotyczących wielokierunkowej odbiciowości (BRDF) i odbiciowości rzeczywistej w kanałach 1–7 MODIS. Eliminowanie danych, nawiązujących do dni z występowaniem pokrywy śnieżnej, następuje na podstawie analizy informacji o jakości (QA) z produktu MODIS BRDF/Albedo [SCHAAF i in. 2002]. Przeprowadzenie tego rodzaju procedury jest niezbędne ze względu na zbyt dużą zmienność wskaźnika *EVI*, który wówczas nie odnosi się do rozwoju roślinności. W algorytmie tym wykorzystuje się także produkt MODIS MOD11A2 LST, tj. wartość średnią temperatury powierzchni czynnej z okresu ośmiu dni w warunkach rozdzielczości przestrzennej 1 km². Produkt ten służy pomocniczo do wybrania okresu o małych wartościach temperatury podłoża, gdy nie obserwuje się aktywności fotosyntetycznej roślin [ZHANG i in. 2003]. To wszystko prowadzi do wyznaczenia tzw. prawdopodobnego okresu wegetacyjnego, tj. okresu bez pokrywy śnieżnej i z wartościami temperatury powierzchni czynnej, sprzyjającymi wzrostowi oraz rozwojowi roślin.

Do określenia czasowej zmienności wegetacji stosuje się modele sigmoidalne, z których jeden określa fazę wzrostu roślin, zaś drugi – starzenie się ich. W przypadku analizowania okresu wzrostu i starzenia się roślin w konkretnym roku można użyć funkcji o postaci [FRIEDL, TAN 2006]:

$$y(t) = \frac{c}{1 + e^{a+bt}} + d \quad (2)$$

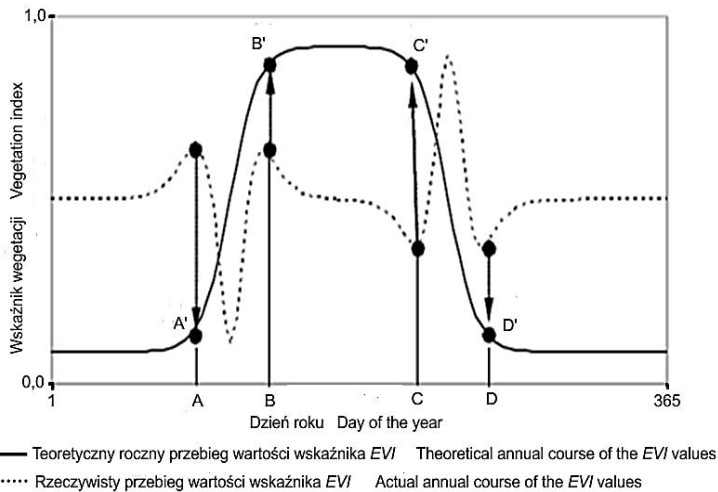
gdzie:

- t – liczba dni;
- $y(t)$ – wartość wskaźnika *EVI* w okresie t ;
- a, b – parametry dopasowane z zastosowaniem nieliniowej metody najmniejszych kwadratów;
- $c + d$ – największa wartość wskaźnika *EVI*;
- d – początkowa wartość wskaźnika *EVI*.

Model dopasowywany jest wówczas do danych rzeczywistych i na tej podstawie wyznacza się daty wystąpienia wartości maksymalnych i minimalnych wskaź-

¹) Tego rodzaju dane są udostępniane przez Land Processes Distributed Active Archive Center, który należy do agencji United States Geological Survey oraz Earth Resources Observation and Science (lpdaac.usgs.gov).

nika *EVI* w ciągu roku (rys. 1). Dаты przejścia między poszczególnymi charakterystycznymi przedziałami wartości odpowiadają okresom, w których mogą się pojawić lokalne maksima i minima wskaźnika *EVI*. Dаты te wskazują w przybliżeniu moment przejścia z jednego stanu stałego (liniowego) do drugiego.



Rys. 1. Procedura definiowania dat początku i końca okresu wegetacyjnego (punkty A i D)
 A – początek zwiększania się wartości wskaźnika *EVI*; B – początek maksymalnych wartości wskaźnika; C – początek zmniejszania się wartości wskaźnika; D – początek minimalnych wartości wskaźnika *EVI*; źródło: opracowano na podstawie: FRIEDL, TAN [2006]

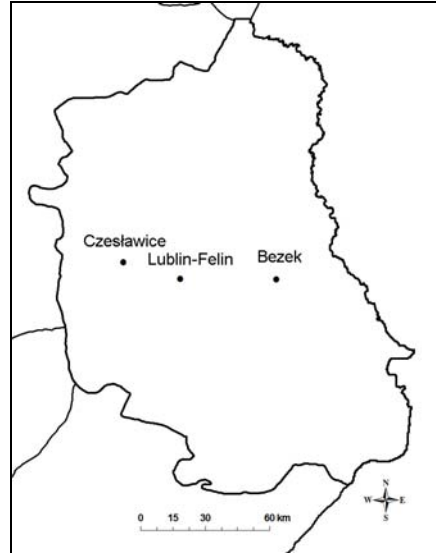
Fig. 1. Procedure for defining the onset and end dates of the growing season (points A and D)
 A – the beginning of the growth of the *EVI* values; B – the beginning of the maximum values;
 C – the beginning of the decrease of *EVI* values; D – the beginning of the minimum values;
 source: based on FRIEDL, TAN [2006]

Na podstawie powyższej metody dąty początku i końca okresu wegetacyjnego wyznaczono dla obszarów w promieniu 10 km od miejsca położenia trzech posterunków meteorologicznych na terenie Lubelszczyzny: Czesławic k. Nałęczowa (51°18'N, 22°16'E), Felina (wschodnia dzielnica Lublina; 51°14'N, 22°38'E) oraz Bezka k. Chełma (51°11'N, 23°16'E) – rysunek 2. Zostały przeanalizowane dąty, odnoszące się do wybranych rodzajów pokrycia terenu (gruntów ornych, łąk i lasów) oraz wartości uśrednione dla całego obszaru wokół danej stacji.

Dane meteorologiczne z powyższych posterunków dotyczyły wartości temperatury powietrza, liczby dni z pokrywą śnieżną oraz stopnia zachmurzenia i pochodziły z archiwum Pracowni Agrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Z kolei miesięczne sumy promieniowania całkowitego pochodziły z wyników reanalizy ERA Interim [DEE i in. 2011], które zaczerpnięto z bazy danych ECMWF. Dane te odnosiły się do punktów gridowych, położonych najbliżej ww. posterunków meteorologicznych (rozdzielczość siatki węzłowej 0,25° × 0,25°).

Rys. 2. Położenie ujętych w opracowaniu posterunków meteorologicznych na terenie Lubelszczyzny; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Location of meteorological stations included in the study in the Lublin Region; source: own work



W odniesieniu do wyznaczonych dat początku i końca okresu wegetacyjnego ocenę zróżnicowania między rodzajami pokrycia terenu oraz metodami wyznaczania dat wykonano, stosując test U Manna-Whitneya badania istotności statystycznej przeciętnych różnic między dwiema grupami porównawczymi (wartości prawdopodobieństw dla małych prób). Z kolei istotność statystyczną współczynników korelacji liniowej między analizowanymi charakterystykami okresu wegetacyjnego a wartościami elementów meteorologicznych sprawdzono testem *t*-Studenta. W przypadku oceny istotności statystycznej współczynników regresji prostej zastosowano test *F*-Snedecora. Obliczenia wykonano za pomocą programu Statistica 9.1 PL firmy Statsoft.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W okresie 2001–2009 daty początku okresu wegetacyjnego, wyznaczone metodą teledetekcyjną i uśrednione ze wszystkich rodzajów pokrycia terenu, przypadły najwcześniej w rejonie Felina (przeciętnie 3 IV), zaś najpóźniej w Czesławicach (średnio 7 IV) – tabela 1. Daty te, w przeciwieństwie do wyznaczonych metodami Gumińskiego oraz Huculaka i Makowca, charakteryzowały się niezbyt dużą zmiennością z roku na rok (tab. 1). Ponadto początek okresu wegetacyjnego, wyznaczony metodą teledetekcyjną, występował przeciętnie od 5 do 11 dni później, niż wskazywałyby daty wyznaczone na podstawie dwóch metod, nawiązujących do przejścia temperatury powietrza przez umownie ustalony próg termiczny 5°C (tab. 2). Różnice między datami początku okresu wegetacyjnego, w zależności od metod ich wyznaczania, były na ogół jednak nieistotne statystycznie (tab. 2).

Tabela 1. Charakterystyki okresu wegetacyjnego na trzech analizowanych obszarach w okresie 2001–2009 w zależności od metod ich wyznaczania

Table 1. Characteristics of the growing season in three analysed areas in the period 2001–2009, depending on the methods of their evaluation

Metoda Method	Średnia data Average date			Odchylenie standardowe Standard deviation		
	Bezek	Felin	Czesławice	Bezek	Felin	Czesławice
Początek okresu wegetacyjnego The onset of the growing season						
Teledetekcyjna Remote sensing method	6 IV	3 IV	7 IV	5,7	5,8	5,8
Gumińskiego by Gumiński	28 III	29 III	31 III	7,3	8,8	9,0
Huculaka-Makowca by Huculak-Makowicz	29 III	26 III	27 III	12,4	12,9	12,3
Koniec okresu wegetacyjnego The end of the growing season						
Teledetekcyjna Remote sensing method	4 X	14 X	13 X	11,4	13,0	23,6
Gumińskiego by Gumiński	5 XI	8 XI	4 XI	6,1	6,9	9,3
Huculaka-Makowca by Huculak-Makowicz	4 XI	11 XI	29 X	15,5	17,2	11,5

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Tabela 2. Ocena różnic między datami początku i końca okresu wegetacyjnego, wyznaczonymi metodą teledetekcyjną, w stosunku do wyznaczonych pozostałymi metodami na analizowanych obszarach w okresie 2001–2009

Table 2. Evaluation of differences between the onset and end dates of the growing season evaluated by remote sensing and other methods in three analysed areas in the period 2001–2009

Stacja meteorologiczna Meteorological station	Wartości statystyki <i>U</i> wg metody <i>U</i> -statistic values according to the method		Różnica w stosunku do metody (liczba dni) The difference with respect to the method (in days)	
	Gumińskiego by Gumiński	Huculaka-Makowca by Huculak-Makowicz	Gumińskiego by Gumiński	Huculaka-Makowca by Huculak-Makowicz
Początek okresu wegetacyjnego The onset of the growing season				
Bezek	16,0	18,5	–9	–9
Felin	31,0	21,5	–5	–7
Czesławice	24,5	13,0*	–7	–11
Koniec okresu wegetacyjnego The end of the growing season				
Bezek	0,0**	0,0**	32	31
Felin	3,0**	6,5**	25	28
Czesławice	14,0*	23,0	22	17

Objaśnienia: ** – poziom istotności $\alpha = 0,01$; * – poziom istotności $\alpha = 0,05$.

Explanations: ** – significance level $\alpha = 0.01$; * – significance level $\alpha = 0.05$.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Koniec okresu wegetacyjnego, wyznaczony metodą teledetekcyjną, na wszystkich analizowanych rodzajach pokrycia terenu najwcześniej przypadał w rejonie Bezka (średnio 4 X), najpóźniej zaś w rejonie Felina (14 X) – tabela 1. Zakres zmienności tych dat był znacznie większy niż w przypadku początku okresu wegetacyjnego – odchylenie standardowe wynosiło od ok. 11 dni w pobliżu Bezka do ponad 23 dni w rejonie Czesławic (tab. 1). Zaznaczyły się także bardzo duże różnice w stosunku do dat wyznaczonych metodami tradycyjnymi (tab. 2). Metoda teledetekcyjna wskazywała na znacznie wcześniejsze zakończenie wegetacji roślin (od 17 do 32 dni), co przejawiało się istotnymi statystycznie różnicami w porównaniu z datami wyznaczonymi metodą Gumińskiego oraz Huculaka i Makowca (tab. 2). Można zatem stwierdzić, że na podstawie danych, wyznaczonych na bazie wskaźnika *EVI*, okres wegetacyjny trwał średnio o miesiąc krócej w stosunku do charakterystyk, obliczonych pozostałymi metodami.

Daty początku okresu wegetacyjnego, wyznaczone metodą teledetekcyjną, nie wykazywały istotnych statystycznie różnic na obszarach z różnym pokryciem terenu. W badanym okresie na trzech analizowanych obszarach nieco wcześniejszym wzrostem aktywności fotosyntetycznej roślin charakteryzowały się łąki, z kolei najmniejszą zmiennością dat początku okresu wegetacyjnego wyróżniały się lasy (tab. 3).

W przypadku dat końca okresu wegetacyjnego różnice w zależności od pokrycia terenu oraz badanych obszarów były większe (tab. 3). W rejonie Felina i Czesławic najwcześniej koniec okresu wegetacyjnego występował na obszarze gruntów ornych (różnice w stosunku do pozostałych rodzajów pokrycia terenu istotne statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$), na co prawdopodobnie mógł mieć wpływ spo-

Tabela 3. Charakterystyki okresu wegetacyjnego na trzech analizowanych obszarach w okresie 2001–2009 w zależności od rodzaju pokrycia terenu

Table 3. Characteristics of the growing season in three analysed areas in the period 2001–2009, depending on the type of land cover

Stacja meteorologiczna Meteorological station	Średnia data Average dates			Odchylenie standardowe Standard deviation		
	grunty orne arable lands	łąki meadows	las forests	grunty orne arable lands	łąki meadows	las forests
Początek okresu wegetacyjnego				The onset of the growing season		
Bezek	6 IV	5 IV	7 IV	6,4	6,2	4,8
Felin	2 IV	31 III	4 IV	6,1	7,8	5,5
Czesławice	7 IV	5 IV	7 IV	6,4	7,2	5,5
Koniec okresu wegetacyjnego				The end of the growing season		
Bezek	4 X	4 X	9 X	11,5	11,7	11,5
Felin	29 IX	22 X	25 X	21,0	22,0	14,6
Czesławice	8 X	20 X	21 X	21,8	25,0	23,8

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

sób ich zagospodarowania przez człowieka w tym okresie (zbiór roślin uprawnych). Analizowane daty odznaczały się dużą zmiennością w badanym okresie (wartości odchylenia standardowego od ok. 11 dni w Bezku do ponad 20 dni w Czesławicach) – tabela 3.

Daty początku okresu wegetacyjnego w badanym okresie, wyznaczone metodą teledetekcyjną, w rejonie Bezka i Czesławic wykazywały wysoce istotną statystycznie ujemną korelację ze średnimi wartościami temperatury powietrza z okresu od stycznia do marca, niezależnie od rodzaju pokrycia terenu (tab. 4). Z kolei w Felinie istotna statystycznie współzmiennność zaznaczyła się przede wszystkim w stosunku do średniej temperatury powietrza w lutym (tab. 4). Wyżej wspomniane charakterystyki objaśniały w okresie 2001–2009 zmienność dat początku okresu wegetacyjnego od ok. 50% w rejonie Felina do ponad 70% na pozostałych dwóch obszarach (tab. 5). Z datami początku okresu wegetacyjnego w rejonie Bezka i Czesławic istotną dodatnią współzmiennością odznaczała się liczba dni z pokrywą śnieżną w okresie od grudnia do marca (tab. 4). Niższe współczynniki korelacji w przypadku Felina mogły być spowodowane wpływem innych czynników, gdyż obszar wokół tego posterunku meteorologicznego jest położony częściowo na terenie miasta Lublin.

Tabela 4. Współczynniki korelacji liniowej między datami początku okresu wegetacyjnego (wartości uśrednione ze wszystkich rodzajów powierzchni) a wybranymi elementami meteorologicznymi

Table 4. Coefficients of linear correlation between the dates of the onset of the growing season (average values from all types of surfaces) and selected meteorological factors

Stacja meteorologiczna Meteorological station	Liczba dni z pokrywą śnieżną (XII–III) Number of days with snow cover (XII–III)	Temperatura powietrza w miesiącu Air temperature in month					
		I	II	III	IV	XII–II	I–III
Bezek	0,81**	-0,83**	-0,63	-0,70*	-0,04	-0,81**	-0,88**
Felin	0,38	-0,31	-0,72*	-0,54	-0,09	-0,36	-0,65*
Czesławice	0,77*	-0,62	-0,78*	-0,83**	-0,16	-0,72*	-0,88**

Objaśnienia jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

W nawiązaniu do wyznaczonych metodą teledetekcyjną dat końca okresu wegetacyjnego zaznaczył się mniejszy wpływ warunków termicznych na aktywność fotosyntetyczną roślin przed okresem zimowego spoczynku (tab. 6). Występowanie wcześniejszego końca okresu wegetacyjnego, niezależnie od rodzaju pokrycia terenu, było związane z wyższymi wartościami sum promieniowania całkowitego we wrześniu. Wartości tego elementu meteorologicznego objaśniały zmienność dat końca okresu wegetacyjnego od ok. 42% w rejonie Felina do 62% w rejonie Bezka (tab. 7). Może to wskazywać na istotny wpływ na aktywność fotosyntetyczną roślin o tej porze roku przede wszystkim stopnia zachmurzenia.

Tabela 5. Równania regresji prostej, określające daty początku okresu wegetacyjnego, wyznaczone metodą teledetekcyjną**Table 5.** Simple regression models specifying the date of the onset of the growing season evaluated by remote sensing method

Stacja meteorologiczna Meteorological station	Model regresji prostej Simple regression model	$R^2 \cdot 100\%$	Statystyka F F -distribution	Błąd standardowy Standard error
Bezek	$y = 95,776 - 2,103x_1$	73,4	23,1**	2,9
Felin	$y = 92,161 - 1,371x_2$	44,8	7,5*	4,3
Czesławice	$y = 96,653 - 2,113x_1$	74,9	24,8**	2,9

Objaśnienia: R^2 – współczynnik determinacji, y – data początku okresu wegetacyjnego, x_1 – średnia temperatura powietrza z okresu styczeń–marzec, x_2 – średnia temperatura powietrza w lutym, pozostałe, jak pod tabelą 2.

Explanations: R^2 – the coefficient of determination, y – the date of the onset of the growing season, x_1 – mean air temperature (January–March), x_2 – mean air temperature (February), other as in Tab. 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Tabela 6. Współczynniki korelacji liniowej między datami końca okresu wegetacyjnego (wartości uśrednione ze wszystkich rodzajów powierzchni) a wybranymi elementami meteorologicznymi**Table 6.** Coefficients of linear correlation between the dates of the end of the growing season (averaged values from all types of surfaces) and selected meteorological factors

Stacja meteorologiczna Meteorological station	Stopień zachmurzenia (wrzesień) Cloudiness (September)	Suma promieniowania całkowitego (wrzesień) The sum of the total radiation (September)	Temperatura powietrza Air temperature		
			sierpień August	wrzesień September	październik October
Bezek	-0,81**	0,82**	-0,36	0,70*	-0,52
Felin	-0,68*	0,70*	-0,14	0,58	-0,50
Czesławice	-0,57	0,78*	-0,44	0,68*	-0,33

Objaśnienia jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Tabela 7. Równania regresji prostej, określające daty końca okresu wegetacyjnego wyznaczone metodą teledetekcyjną**Table 7.** Simple regression models specifying the date of the end of the growing season evaluated by remote sensing method

Stacja meteorologiczna Meteorological station	Model regresji prostej Simple regression model	$R^2 \cdot 100\%$	Statystyka F F -distribution	Błąd standardowy Standard error
Bezek	$y = 207,702 + 0,199x$	62,0	14,0**	7,0
Felin	$y = 220,984 + 0,188x$	42,1	6,8*	9,9
Czesławice	$y = 156,326 + 0,367x$	55,8	11,1**	15,7

Objaśnienia: R^2 – współczynnik determinacji, y – data końca okresu wegetacyjnego, x – suma promieniowania całkowitego (wrzesień), pozostałe, jak pod tabelą 2.

Explanations: R^2 – the coefficient of determination, y – the date of the end of the growing season, x – the sum of the total radiation (September), other as in Tab. 2.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

WNIOSKI

1. Zastosowanie metody teledetekcyjnej dla trzech wybranych obszarów na terenie Lubelszczyzny wykazało, że początek okresu wegetacyjnego występował przeciętnie o tydzień później niż według metody Gumińskiego oraz Huculaka i Makowca. Z kolei daty końca okresu wegetacyjnego wskazywały na znacznie wcześniejsze (o 3–4 tygodnie) obniżenie aktywności fotosyntetycznej roślin w porównaniu z określonymi metodami tradycyjnymi.

2. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między datami początku okresu wegetacyjnego w zależności od pokrycia terenu (lasy, grunty orne, łąki), natomiast koniec okresu wegetacyjnego wyraźnie wcześniej określono dla gruntów ornych (szybszy spadek aktywności fotosyntetycznej roślin).

3. Początek okresu wegetacyjnego, wyznaczony metodą teledetekcyjną, w regionie Czesławic i Bezka był wysoce istotnie statystycznie skorelowany ze średnią wartością temperatury powietrza w okresie styczeń–marzec oraz liczbą dni z pokrywą śnieżną od grudnia do marca. Daty końca okresu wegetacyjnego na trzech badanych obszarach były na początku jesieni silniej skorelowane z sumami promieniowania całkowitego niż z warunkami termicznymi.

4. Zastosowane w pracy dane satelitarne są dostępne dopiero od 2001 r., tak więc nieodzwonne wydaje się w przyszłości przeprowadzanie bardziej szczegółowych badań, również w odniesieniu do większych obszarów.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr NN305368338

LITERATURA

- DEE D.P. i 35 współautorów 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological*. Vol. 137. No. 656 s. 553–597.
- FRIEDL M., TAN B. 2006. MODIS Global Land Cover Dynamics (MOD12Q2). User guide [online]. Boston University. [Dostęp 21.02.2011]. Dostępny w Internecie: http://www.modis.bu.edu/duckwater1/mod12q2/doc/MOD12Q2_V4_user_guide.doc.pdf
- GUMIŃSKI R. 1948. Próba wydzielenia dzielnic rolniczo-klimatycznych w Polsce. *Przegląd Meteorologiczny i Hydrologiczny*. T. 1. Z. 1 s. 7–20.
- HUCULAK W., MAKOWIEC M. 1977. Wyznaczanie meteorologicznego okresu wegetacyjnego na podstawie jednorocznych materiałów obserwacyjnych. *Zeszyty Naukowe SGGW*. Nr 25 s. 65–72.
- HUETE A., DIDAN K., MIURA T., RODRIGUEZ E.P., GAO X., FERREIRA L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 83. No. 1–2 s. 195–213.
- LIU H.Q., HUETE A.R. 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 33 s. 457–465.

- SCHAAF C.B. i 21 współautorów 2002. First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 83. No. 1–2 s. 135–148.
- SILUCH M., KASZEWSKI B. 2010. Zmienność wybranych wskaźników stanu roślinności na terenie Rezerwatu Biosfery Polesie Zachodnie na podstawie danych satelitarnych. W: *Przyszłość krajobrazów hydrogenicznych w rezerwach biosfery Europy*. Pr. zbior. Red. T. Chmielewski, D. Piasecki. Lublin. UP Lublin, Poleski PN, PAN Oddz. Lublin, Komitet Narodowy UNESCO-MAB s. 321–336.
- ZHANG X.Y., FRIEDL M.A., SCHAAF C.B., STRAHLER A.H., HODGES J.C.F., GAO F., REED B.C., HUETE A. 2003. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 84. No. 3 s. 471–475.

Marcin SILUCH, Krzysztof BARTOSZEK

THE USE OF SATELLITE DATA FOR DETERMINING THE ONSET AND THE END OF THE GROWING SEASON

Key words: *growing season, Lublin Region, remote sensing method, vegetation index*

S u m m a r y

The aim of this study is to evaluate the possibility of using satellite data to determine dates of the onset and end of the growing season. The analysed characteristics were determined based on the Enhanced Vegetation Index (*EVI*) and satellite images with spatial resolution of 500 m, derived from MODIS scanner (MOD12Q2 product). Based on this method, dates of the onset and end of the growing season were determined for areas within 10 km from the location of three meteorological stations in the Lublin Region: Czesławice near Nałęczów, Felin (eastern district of Lublin) and Bezek near Chełm. The study period covered the years 2001–2009 and dates referred to the selected land cover types (arable lands, meadows and forests). It was found that the growing season determined with the remote sensing method was on average shorter by one month compared with that estimated with traditional methods such as those by Gumiński and Huculak-Makowiec. The onset of the growing season was significantly correlated with the mean air temperature in January-March period and the number of days with snow cover from December to March. In addition, dates of the end of growing season showed the highest correlation with the sum of the total radiation in September.