

PORÓWNANIE METODY GUMIŃSKIEGO I TELEDETEKCJI SATELITARNEJ W ASPEKcie WYZNACZANIA DAT POCZĄTKU OKRESU WEGETACYJNEGO NA OBSZARZE POLSKI

Krzysztof Bartoszek¹, Marcin Siłuch²

¹ Zakład Meteorologii i Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Al. Kraśnicka 2c, 21-718 Lublin, e-mail: k.bartoszek@umcs.pl

² Pracownia Geoinformacji, Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Al. Kraśnicka 2c, 21-718 Lublin, e-mail: msiluch@gmail.com

STRESZCZENIE

Celem niniejszej pracy było porównanie dat początku okresu wegetacyjnego (OW) na obszarze Polski w okresie 2001–2010, które wyznaczono na podstawie dwóch niezależnych metod. Do wyznaczania dat metodą Gumińskiego wykorzystano średnie miesięczne wartości temperatury powietrza z punktów gridowych rozmieszczonych na terenie kraju. Natomiast do określenia dat początku OW metodą teledetekcji satelitarnej wykorzystano dane pochodzące z NASA LP DAAC, które były wynikiem pomiarów wykonywanych przez wielospektralny skaner MODIS umieszczony na satelitach Terra i Aqua. Wykazana została znaczna zgodność średnich terminów początku OW w Polsce wyznaczonych tymi dwoma metodami, co może sugerować istotny wpływ czynnika termicznego na wzrost aktywności fotosyntetycznej roślinności po okresie zimowym. Obydwie metody potwierdziły, że przeciętnie najwcześniej początek OW występuje w południowo-zachodniej części kraju, natomiast najpóźniej w Polsce Północnej i na obszarach górskich.

Słowa kluczowe: teledetekcja satelitarna, okres wegetacji, MODIS, EVI, aktywność fotosyntetyczna.

COMPARISON OF GUMIŃSKI AND SATELLITE REMOTE SENSING METHODS IN TERMS OF DETERMINING THE DATES OF THE ONSET OF THE GROWING SEASON IN POLAND

ABSTRACT

The aim of the paper is to compare the dates of the onset of the growing season in Poland in the period 2001–2010, which were determined on the basis of two independent methods. The dates determined by Gumiński method based on gridded monthly mean air temperature over Poland area. In turn, satellite data extracted from NASA LP DAAC product, which were the result of measurements performed with multispectral scanner (MODIS) on the Terra and Aqua satellites. It was demonstrated that the average dates of the onset of the growing season in Poland determined by two methods did not differ significantly. It may suggest a significant impact of thermal factor on the increase in the photosynthetic activity of vegetation after the winter months. Both methods confirmed that the earliest average dates of the onset of the growing season occur in the southwestern part of the country, and the latest in northern Poland and in the mountain areas.

Keywords: remote sensing, growing season, MODIS, EVI, photosynthetic activity.

WSTĘP

Teledetekcja satelitarna jest użytecznym źródłem obserwacji m.in. stanu wegetacji roślin w różnych skalach przestrzennych. Do tego celu wykorzystywane są dane pozyskiwane za pomocą takich instrumentów, jak np. zaawansowany

radiometr bardzo dużej rozdzielczości (AVHRR) lub spektrometr obrazujący średniej rozdzielczości (MODIS), które umieszczone są na satelitach obsługiwanych odpowiednio przez Narodową Administrację ds. Oceanów i Atmosfery (NOAA) oraz Narodową Agencję Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (NASA). Uzyskane w

ten sposób wartości tzw. wskaźników wegetacji wielokrotnie wykorzystywano w badaniach nad zmiennością stanu roślinności w różnych rejonach kuli ziemskiej [np. Bunn i Goetz 2006, Karlsson i in. 2008; Kim i in. 2012].

Obserwowany od pewnego czasu wzrost globalnej temperatury powietrza wpływa na zmiany w długości okresu wegetacyjnego (OW), przede wszystkim w wysokich szerokościach geograficznych [Xu i in. 2013]. Dłuższy OW, w powiązaniu z większą zawartością CO_2 w atmosferze i wzrostem pochłaniania go przez roślinność w procesach fotosyntezy, może mieć także wpływ na wzrost produkcji pierwotnej netto [Craine i in. 2003]. Teledetekcja satelitar-na umożliwia uzyskiwanie informacji na temat zmienności początku i końca OW, dlatego też jest ważnym narzędziem wykorzystywanym w badaniach nad zmianami klimatu [Bartoszek i in. 2015, De Beurs i Henebry 2010, Jeganathan i in. 2014, Karlsson i in. 2014].

W Polsce początek i koniec OW ustala się zwykle na podstawie określenia dni, w których temperatura powietrza przekracza próg 5°C [Gumiński 1948, Huculak i Makowiec 1977, Nieróbca i in. 2013]. Według Jaagusa i Ahasa [2000] jedną z głównych wad tego rodzaju metod jest to, że na sąsiadujących ze sobą stacjach wyznaczone daty mogą od siebie znacznie odbiegać, mimo niewielkich odmienności w przebiegu temperatury powietrza. Wstępne wyniki badań dotyczące porównania dat początku OW w wybranych punktach na obszarze Lubelszczyzny, które uzyskano przy wykorzystaniu metod tradycyjnych oraz danych satelitarnych, wykazały istnienie dość nieznacznych różnic [Siłuch i Bartoszek 2012]. Celem niniejszej pracy jest porównanie dat początku OW na obszarze Polski, które wyznaczono na podstawie metody Gumińskiego i teledetekcji satelitarnej.

MATERIAŁ I METODY

Do wyznaczania dat początku OW metodą Gumińskiego (1948) wykorzystano średnie miesięczne wartości temperatury powietrza z punktów gridowych na obszarze Polski z lat od 2001 do 2010, które pochodziły z reanalizy ERA Interim [Dee i in. 2011]. Dane zostały pozyskane z bazy danych FOODSEC MeteoData [<http://mars.jrc.ec.europa.eu>], w której wartości temperatury powietrza odniesione zostały za pomocą metody

downscalingu do punktów węzłowych siatki o rozdzielczości $0,25 \times 0,25^\circ$. Daty przejścia temperatury powietrza przez wartość próg 5°C w każdym punkcie gridowym znajdującym się na obszarze Polski oraz w pobliżu jej granic określano w pierwszej połowie kalendarzowego roku na podstawie wzorów zaproponowanych przez Gumińskiego [1948]. Przyjęto następujące uproszczenia: (1) każdy miesiąc miał 30 dni, (2) wartość temperatury powietrza równa średniej miesięcznej przypadała na środkowy dzień miesiąca, (3) temperatura powietrza między kolejnymi środkowymi dniami miesiąca zmieniała się liniowo.

Do określenia dat początku OW metodą teledetekcji satelitarnej wykorzystano dane z produktu MCD12Q2 (wersja 5), pochodzące z NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). Były one wynikiem pomiarów wykonywanych przez wielospektralny skaner MODIS umieszczony na satelitach Terra i Aqua, które działają w ramach Systemu Obserwacji Ziemi (EOS) i umożliwiają uzyskiwanie informacji m.in. na temat stanu rozwoju roślinności w skali globalnej. Produkt MCD12Q2 powstał na podstawie danych dotyczących rocznego przebiegu wartości wskaźnika wegetacji Enhanced Vegetation Index (EVI) i przy zastosowaniu dwukierunkowej funkcji rozkładu odbicia BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function), która wprowadza poprawki ograniczające wpływ na uzyskiwane wartości m.in. zachmurzenia, aerozoli atmosferycznych i odbicia promieniowania od powierzchni ziemi [Schaaf i in. 2002]. Należy przy tym wspomnieć, że wskaźnik EVI lepiej określa dynamikę zmian aktywności fotosyntetycznej roślin na wybranym obszarze, niż wskaźnik NDVI [Huete i in. 2002]. Produkt MCD12Q2 stanowiły kompozycje 8-dniowe, które odznaczały się 500-metrową rozdzielczością przestrzenną piksela. Danymi wyjściowymi produktu były m.in. numery kolejnych dni w pierwszej połowie roku (np. 80-ty dzień roku to 21 marca), które odpowiadały terminom wyraźnego wzrostu (ang. „greenup onset”) wartości wskaźnika EVI w poszczególnych pikselach i były zarazem datą początku OW. Szczegółowy opis procedury wyznaczania omawianych dat znajduje się w opracowaniu Zhanga i in. [2003].

W niniejszym opracowaniu powierzchnię Polski pokryto regularną siatką o wymiarach przestrzennych $0,25 \times 0,25^\circ$. Wskutek tego obszar kraju został podzielony na 653 pola podstawowe

w ten sposób, aby punkty gridowe, stanowiące podstawę do wyznaczania dat początku OW metodą Gumińskiego, znajdowały się w ich centralnej części. Natomiast wartości pozyskane z produktu MCD12Q2 dopasowano do założonej rozdzielczości przestrzennej (a więc do każdego pola) metodą średniej ważonej przy zastosowaniu oprogramowania ENVI 4.7.

WYNIKI

Według metody Gumińskiego w okresie 2001–2010 najwcześniejsze przeciętne daty początku OW występowały na obszarze południowo-zachodniej Polski (22–23 marzec), natomiast najpóźniejsze w Polsce Północnej (3–7 kwiecień) oraz w rejonie Tatr (10–14 kwiecień) (rys. 1a). Różnica między skrajnymi średnimi datami wynosiła 22 dni (tab. 1), jednakże na niemal połowie terytorium kraju daty zawierały się między

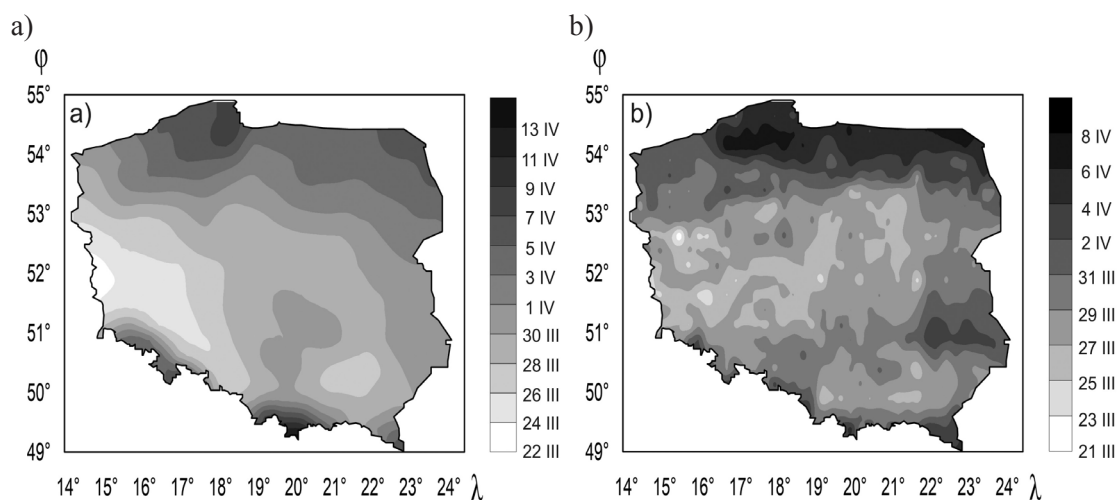
26 a 30 marca (rys. 2a). Najwcześniejszy w kraju średni obszarowy początek OW w analizowanej dekadzie wystąpił w 2007 r. (12 marzec), a najpóźniejszy w 2003, 2005 i 2006 r. (4–6 kwiecień) (rys. 3a). Największą zmiennością dat początku OW charakteryzował się obszar Polski Zachodniej, Pomorza i Podkarpacia, z kolei najmniejszą obszary górskie (rys. 4a).

W przypadku dat wyznaczonych metodą teledetekcji satelitarnej, przeciętny początek OW w okresie 2001–2010 występował na niemal 1/3 powierzchni Polski między 26 a 28 marca (rys. 1b i 2b). Różnica między średnimi skrajnymi datami wynosiła 18 dni (tab. 1), przy czym zarówno bardzo wczesny (20–22 marzec), jak i późny początek OW (7–10 kwiecień) odnosił się do niewielkiej powierzchni kraju (rys. 2b). Najwcześniej, bo przeciętnie między 21 a 27 marca, OW rozpoczynał się w zachodniej i środkowej części Polski oraz w rejonie kotlin podkarpackich (rys. 1b). Natomiast

Tabela 1. Charakterystyki dat początku OW w Polsce wyznaczonych metodą Gumińskiego oraz teledetekcji satelitarnej

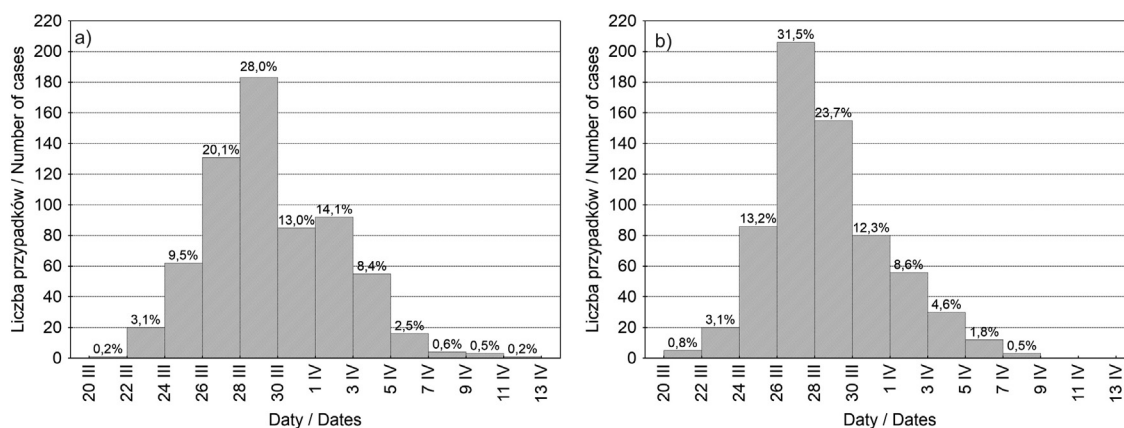
Table 1. The characteristics of dates of the onset of the growing season in Poland determined by Gumiński and satellite remotely sensed methods

Lata	Mediana	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Skośność	Kurtoza
Metoda Gumińskiego							
2001	2 IV	24 III	19 IV	3,6	3,9	0,2	0,3
2002	24 III	17 III	16 IV	4,2	5,0	1,0	2,0
2003	5 IV	24 III	19 IV	4,5	4,7	0,0	-0,4
2004	29 III	20 III	11 IV	4,0	4,6	-0,2	-0,4
2005	4 IV	28 III	13 IV	3,0	3,1	0,0	-0,5
2006	6 IV	2 IV	14 IV	2,7	2,7	0,5	-0,8
2007	12 III	2 III	2 IV	3,4	4,8	1,4	6,3
2008	29 III	22 III	15 IV	3,6	4,1	1,1	2,1
2009	28 III	19 III	7 IV	3,9	4,5	-0,2	-0,7
2010	31 III	24 III	15 IV	3,7	4,1	0,7	0,5
2001-2010	30 III	23 III	14 IV	3,4	3,8	0,5	0,3
Metoda teledetekcji satelitarnej							
2001	31 III	15 III	18 IV	4,8	5,4	0,0	0,3
2002	23 III	4 III	5 IV	4,3	5,3	-0,4	1,0
2003	5 IV	25 III	14 IV	3,2	3,4	-0,2	-0,2
2004	29 III	18 III	8 IV	3,5	4,0	-0,1	-0,3
2005	31 III	23 III	13 IV	3,7	4,1	0,7	0,7
2006	7 IV	26 III	18 IV	3,5	3,6	0,1	0,3
2007	22 III	9 III	4 IV	5,2	6,4	-0,2	-0,2
2008	22 III	3 III	2 IV	5,6	7,0	-0,3	-0,6
2009	27 III	13 III	8 IV	5,0	5,8	0,0	-0,2
2010	3 IV	21 III	6 V	7,7	8,2	1,5	2,4
2001-2010	29 III	23 III	10 IV	3,1	3,5	0,7	0,4



Rys. 1. Zmienność przestrzenna średnich dat początku OW na obszarze Polski wyznaczonych metodą (a) Gumińskiego i (b) teledetekcji satelitarnej (2001–2010)

Fig. 1. Spatial variability of the average dates of the onset of the growing season in Poland determined by (a) Gumiński and (b) satellite remotely sensed methods (2001–2010)



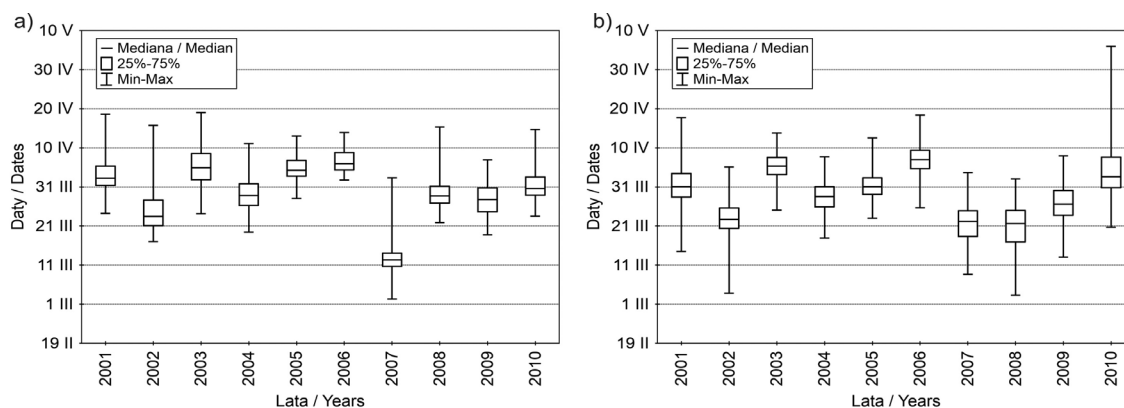
Rys. 2. Histogramy rozkładu średnich dat początku OW w Polsce (n=653) wyznaczonych metodą (a) Gumińskiego i (b) teledetekcji satelitarnej (2001–2010)

Fig. 2. Distributions of the average dates of the onset of the growing season in Poland (n=653) determined by (a) Gumiński and (b) satellite remotely sensed methods (2001–2010)

najpóźniejsze daty występowały w Polsce Północnej, na obszarach górskich oraz na Wyżynie Lubelskiej i Rostoczu (2–10 kwietnia). Uzyskane wyniki były więc zbliżone do tych, w których początek OW określano jako datę przejścia temperatury powietrza przez próg 5°C [Nieróbca i in. 2013, Żmudzka 2012]. W dwóch latach omawianej dekady, tj. w 2003 i 2006 r., średnia data początku OW była wyższa od wartości przeciętnej z okresu 2001–2010 o 2 odchylenia standardowe i przypadała odpowiednio na 5 i 7 kwietnia (rys. 3b i 4b). Natomiast w 2002, 2007 i 2008 r. średnia data była niższa od wartości przeciętnej o 2 odchylenia standardowe i przypadała na około 22 marca. Największymi wartościami współczynnika zmienności wyróżniał

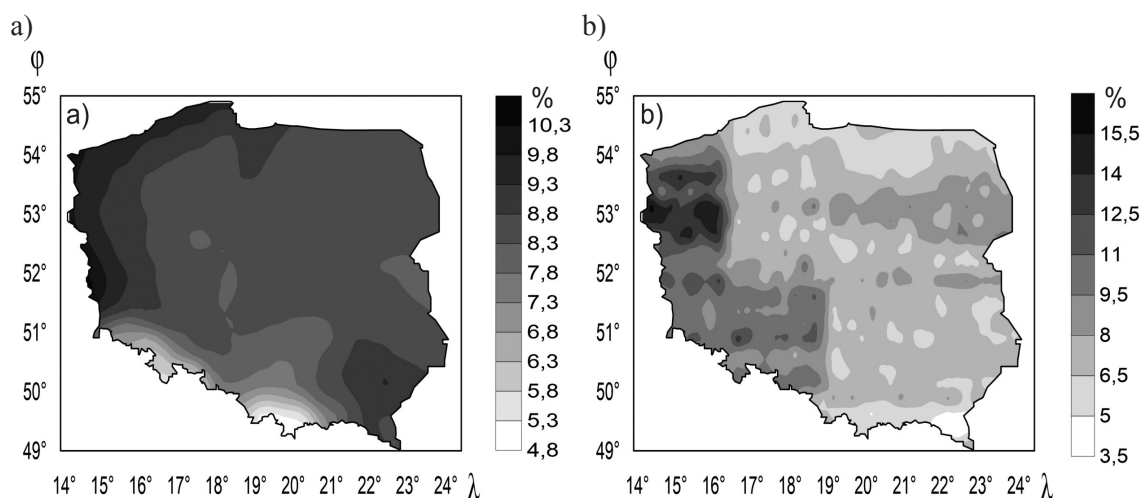
się obszar północno-zachodniej Polski (rys. 4b). W tej części kraju najwcześniejszy początek OW w badanym okresie wystąpił 13 marca 2002 r., a najpóźniejszy 30 kwietnia 2010 r.

W przypadku średniej daty początku OW z obszaru Polski za okres 2001–2010 różnica między dwoma omawianymi metodami wynosiła tylko 1 dzień (30 marca w metodzie Gumińskiego; 29 marca w metodzie teledetekcyjnej) (tab. 1). Również analiza współzmienności średnich dat w każdym z 653 pól podstawowych wykazała istnienie na ogół dość niewielkich różnic (rys. 5). Ponadto aż na nieco ponad 3/4 powierzchni Polski współczynniki korelacji rang Spearmana przekraczały wartość 0,7, a jedynie na około 6% obszaru kraju osiągały wartość poniżej 0,6 (rys. 6).



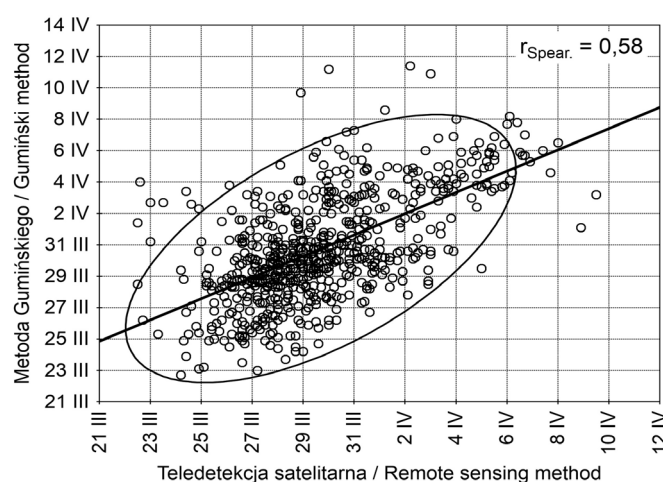
Rys. 3. Charakterystyka rozkładu empirycznego dat początku OW w Polsce wyznaczonych metodą (a) Gumińskiego oraz (b) teledetekcji satelitarnej

Fig. 3. Features of the empirical distribution of dates of the onset of the growing season in Poland determined by (a) Gumiński and (b) satellite remotely sensed methods



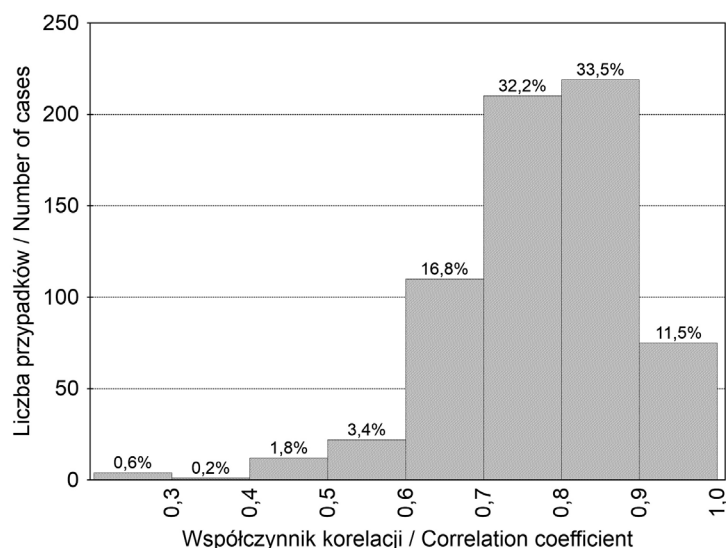
Rys. 4. Rozkład przestrzenny współczynnika zmienności (%) dat początku OW w Polsce wyznaczonych metodą (a) Gumińskiego oraz (b) teledetekcji satelitarnej

Fig. 4. Spatial variability of the coefficient of variation (%) of dates of the onset of the growing season in Poland determined by (a) Gumiński and (b) satellite remotely sensed methods



Rys. 5. Wykres rozrzutu przedstawiający porównanie średnich dat początku OW wyznaczonych metodą Gumińskiego oraz teledetekcji satelitarnej w każdym z 653 pól podstawowych na obszarze Polski. Zaprezentowano także elipsę obszaru ufności na poziomie 0,95 oraz linię regresji prostej

Fig. 5. Scatter diagram illustrating comparison of the average dates of the onset of the growing season determined by Gumiński and satellite remotely sensed methods in the 653 grids in the area of Poland. A normal distribution ellipse is given, representing the 0.95 probability limit, as well as a simple regression line



Rys. 6. Histogram rozkładu współczynników korelacji rang Spearmana ($n=653$) między datami początku OW wyznaczonymi na obszarze Polski metodą Gumińskiego i teledetekcji satelitarnej

Fig. 6. Distributions of Spearman's rank correlation coefficients ($n=653$) between dates of the onset of the growing season in Poland determined by Gumiński and satellite remotely sensed methods

WNIOSKI

1. Wykazano dość znaczną zgodność dat początku OW w Polsce wyznaczonych dwoma niezależnymi metodami, gdzie pierwsza z nich bazuje na wartościach temperatury powietrza (metoda Gumińskiego), a w drugiej oceniana jest zawartość chlorofilu w roślinach (metoda teledetekcji satelitarnej).
2. Podobieństwo dat ukazuje bardzo duży wpływ czynnika termicznego na wzrost aktywności fotosyntetycznej roślinności po okresie zimowym.
3. Obydwie metody potwierdziły, że przeciętnie najwcześniej początek OW występuje w południowo-zachodniej części kraju, natomiast najpóźniej w Polsce Północnej i na obszarach górskich.
4. Większe zróżnicowanie przestrzenne dat w przypadku metody teledetekcji satelitarnej wynika przede wszystkim z faktu, że uwzględnia się w niej rodzaj pokrycia terenu. W zależności od tego czynnika w skali lokalnej mogą kształtować się specyficzne warunki termiczne, co może wpływać na tempo rozwoju roślinności na początku wiosny.

LITERATURA

1. Bartoszek K., Siłuch M., Bednarczyk P. 2015. Characteristics of the onset of the growing season in Poland based on the application of remotely sensed data in the context of weather conditions and land cover types. *European Journal of Remote Sensing*, 48, 327–344.
2. Bunn A.G., Goetz S.J. 2006. Trends in satellite-observed circumpolar photosynthetic activity from 1982 to 2003: the influence of seasonality, cover type, and vegetation density. *Earth Interact.*, 10 (12), 1–19.
3. Craine J.M., Reich P.B., Tilman G.D., Ellsworth D., Fargione J., Knops J. 2003. The role of plant species in biomass production and response to elevated CO_2 and N. *Ecology Letters*, 6 (7), 623–630.
4. De Beurs K.M., Henebry G.M. 2010. A land surface phenology assessment of the northern polar regions using MODIS reflectance time series. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 36 (1), 87–110.
5. Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S. 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137 (656), 553–597.
6. Gumiński R. 1948. Próba wydzielenia dzielnic rolniczo-klimatycznych w Polsce. *Przegląd Meteorologiczny i Hydrologiczny*, 1 (1), 7–20.
7. Huculak W., Makowiec M. 1977. Wyznaczanie meteorologicznego okresu wegetacyjnego na podstawie jednorocznych materiałów obserwacyjnych. *Zeszyty Naukowe SGGW*, 25, 65–72.
8. 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*, 83, 195–213.

9. Jaagus J., Ahas R. 2000. Space-time variations of climatic seasons and their correlation with the phenological development of nature in Estonia. *Climate Research*, 15 (3), 207–219.
10. Jeganathan C., Dash J., Atkinson P.M. 2014. Remotely sensed trends in the phenology of northern high latitude terrestrial vegetation, controlling for land cover change and vegetation type. *Remote Sensing of Environment*, 143, 154–170.
11. Karlsen S.R., Elvebakk A., Høgda K.A., Grydeland T. 2014. Spatial and Temporal Variability in the Onset of the Growing Season on Svalbard, Arctic Norway – Measured by MODIS-NDVI Satellite Data. *Remote Sensing*, 6, 8088–8106.
12. Karlsen S.R., Tolvanen A., Kubin E., Poikolainen J., Høgda K.A., Johansen B. i in. 2008. MODIS-NDVI-based mapping of the length of the growing season in northern Fennoscandia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10, 253–266.
13. Kim Y., Kimball J.S., Zhang K., McDonald K.C. 2012. Satellite detection of increasing northern hemisphere non-frozen seasons from 1979 to 2008: Implications for regional vegetation growth. *Remote Sensing of Environment*, 121, 472–487.
14. Nieróbca A., Kozyra J., Mizak K., Wróblewska E. 2013. Zmiana długości okresu wegetacyjnego w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 13 (2), 81–94.
15. Schaaf C.B., Gao F., Strahler A.H., Lucht W., Li X.W., Tsang T. i in. 2002. First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 83, 135–148.
16. Siłuch M., Bartoszek K. 2012. Możliwości wykorzystania danych satelitarnych do wyznaczania początku i końca okresu wegetacyjnego. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. 12 (2), 245–255.
17. Xu L., Myneni R.B., Chapin F.S., Callaghan T.V., Pinzon J.E., Tucker C.J. i in. 2013. Temperature and vegetation seasonality diminishment over northern lands. *Nature Climate Change*, 3, 581–586.
18. Zhang X., Friedl M.A., Schaaf C.B., Strahler A.H., Hodges J.C.F., Gao F. i in. 2003. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 84 (3), 471–475.
19. Żmudzka E. 2013. The influence of circulation patterns on extreme thermal resources in the growing season and the period of active plant growth in Poland (1951-2006). *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (5), 541–549.