

Wpłynęło 26.05.2015 r.  
Zrecenzowano 30.11.2015 r.  
Zaakceptowano 03.12.2015 r.  
A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# KLIMATYCZNY BILANS WODNY NA OBSZARZE POLSKI W ŚWIETLE WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU

**Agnieszka ZIERNICKA-WOJTASZEK**<sup>ABCDEF</sup>

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza

## Streszczenie

W pracy oszacowano zmiany zasobów termicznych i klimatycznego bilansu wodnego na obszarze Polski w dwóch kolejnych okresach normowych rekomendowanych przez Światową Organizację Meteorologiczną (WMO) – 1971–2000 i 1981–2010, w których obserwowano wyraźny wzrost temperatury powietrza przy braku wyraźnych tendencji opadów atmosferycznych. Zasoby termiczne wyznaczono za pomocą sumy temperatury, natomiast klimatyczny bilans wodny obliczono jako różnicę między sumą opadów atmosferycznych, a sumą parowania potencjalnego, określoną metodą Thornthwaite'a. Obliczeń zasobów termicznych i wodnych dokonano dla przedziału czasowego czerwiec–sierpień, a więc dla tej części okresu wegetacyjnego, w której najbardziej intensywnie zachodzą procesy wegetacji i występują największe potrzeby wodne w przeważającej części upraw rolniczych. Wydzielono cztery regiony termiczne i trzy regiony charakteryzujące warunki wodne. Stwierdzono, że powierzchnia regionu bardzo ciepłego, o sumie temperatury w przedziale 1600–1650°C, zwiększyła się z 10 do 48% obszaru Polski, a strefa sucha, o wartości klimatycznego bilansu wodnego w granicach od –90 do –120 mm, z 34 do 52%. Charakterystyczny jest zanik powierzchni regionu chłodnego o sumie temperatury < 1500°C w okresie 1981–2010 w porównaniu z 30-leciem 1971–2000. Powierzchnia regionu bardzo ciepłego i jednocześnie suchego zwiększyła się sześciokrotnie – z 5% w trzydziestolecu 1971–2000 do 30% w latach 1981–2010.

**Słowa kluczowe:** klimatyczny bilans wodny, Polska, temperatura powietrza, współczesne zmiany klimatu

---

**Do cytowania For citation:** Ziernicka-Wojtaszek A. 2015. Klimatyczny bilans wodny na obszarze Polski w świetle współczesnych zmian klimatu. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 4 (52) s. 93–100.

## WSTĘP

Z uwagi na naturalną zmienność pogody w poszczególnych latach charakterystyki zasobów, walorów i zagrożeń klimatycznych badanego obszaru, w myśl zaleceń Światowej Organizacji Meteorologicznej, dokonuje się na podstawie wieloletnich, zazwyczaj 30-letnich okresów. Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO) i jej poprzedniczka, Międzynarodowa Organizacja Meteorologiczna (IMO), były inicjatorami i koordynatorami sporządzania norm klimatycznych dla swoich krajów członkowskich obejmujących okresy 30-letnie, począwszy od trzydziestolecia 1901–1930 [ARGUEZ, VOSE 2011]. W sytuacji wyraźnego wzrostu temperatury powietrza, jaki zaznaczył się, zwłaszcza w ostatnich dwóch dekadach XX w. [KOZUCHOWSKI, ŻMUDZKA 2001; MILLY i in. 2008; SOLOMON i in. 2007; WÓJCIK, MIĘTUS 2014; ŻMUDZKA 2009], wynoszącego w skali globalnej  $0,2^{\circ}\text{C}$ , a na obszarze Polski  $0,3^{\circ}\text{C}$  na dekadę, zaczęto coraz bardziej podważać sens charakteryzowania aktualnych, a tym bardziej przyszłych warunków klimatycznych za pomocą norm klimatycznych obliczanych w ten sposób [LIVEZEY i in. 2007]. Wśród ważniejszych, powszechnie stosowanych metod służących określeniu, zwłaszcza dla celów praktycznych, w miarę aktualnych warunków klimatycznych można wymienić zalecenie, by państwa członkowskie WMO stworzyły 10-letnie aktualizacje, a nie jak to było dotychczas – aktualizacje 30-letnie. Praktycznym wyrazem tego było zastąpienie normy 1961–1990, średnią z okresu 1971–2000, a obecnie nową normą 1981–2010 i sporządzenie raportu podsumowującego najcieplejszą w historii obserwacji instrumentalnych dekadę 2001–2010 [JARRAUD 2013].

Wzrost temperatury powietrza poprawił warunki uprawy roślin ciepłolubnych i wydłużył okres wegetacyjny w średnich szerokościach geograficznych, lecz uwidocznił problem zmniejszania się wartości przepływu rzecznoego na skutek wzrostu parowania mimo braku wyraźnych tendencji opadów atmosferycznych na obszarze Polski w ostatnich dziesięcioleciach [CZARNECKA, NIDZGORSKA-LENCEWICZ 2012; NIERÓBCA i in. 2013; ŻMUDZKA 2009]. Mimo braku wyraźnych zmian, reżim opadowy uległ w drugiej połowie XX i na początku XXI w. pewnym modyfikacjom, mianowicie wzrósł współczynnik zmienności opadów [KOZUCHOWSKI 1996; ZIERNICKA-WOJTASZEK 2006], a także zmniejszył się udział sum opadów letnich w sumie rocznej. Polska należy do krajów o małych zasobach wodnych. Całkowite roczne odnawialne zasoby wodne w przeliczeniu na mieszkańca, według stanu na 2010 r., wynoszą  $1465\text{ m}^3$  [KOWALCZAK 2008]. Jest to prawie trzy razy mniej niż przeciętnie w Europie i pięć razy mniej niż średnio na świecie. W tak zarysowanej sytuacji niniejsza praca ma na celu oszacowanie zmian zasobów termicznych i klimatycznego bilansu wodnego w dwóch krokach czasowych – nowej normie klimatycznej 1981–2010 i do niedawna obowiązującej 1971–2000.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W opracowaniu wykorzystano średnie miesięczne wartości temperatury powietrza i miesięczne sumy opadów atmosferycznych z okresu 1971–2010, publikowane w takich wydawnictwach IMGW, jak „Miesięczny Przegląd Agrometeorologiczny”, „Dekadowy Biuletyn Agrometeorologiczny”, „Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej”, a także udostępnione z bazy danych archiwalnych IMGW. Dotyczyły one 21 stacji meteorologicznych rozmieszczonych równomiernie na obszarze Polski. Ze względu na niedostateczną liczbę stacji meteorologicznych nie uwzględniono obszarów górskich.

Porównano powierzchnie regionów pluwiotermicznych w badanych okresach. Regiony termiczne wyznaczono za pomocą sum temperatury. Klimatyczny bilans wodny obliczono jako różnicę między sumą opadów atmosferycznych, a sumą parowania potencjalnego określoną metodą THORNTHWAITE'A [1948]. Metoda ta pozwala określić ewapotranspirację potencjalną ( $ET_p$ ) na podstawie danych klimatycznych z równania:

$$ET_p = c \cdot t_s^a$$

gdzie:

$ET_p$  = miesięczna ewapotranspiracja potencjalna;

$t_s$  = średnia miesięczna temperatura;

$a, c$  = parametry uzależnione od wskaźnika cieplnego, określonego w funkcji wartości średnich miesięcznych temperatury powietrza oraz od możliwego czasu nasłonecznienia.

Równanie to odnosi się do standardowego miesiąca, składającego się z 30 dni o 12 godzinach nasłonecznienia. Wartości ewapotranspiracji rzeczywistych oblicza się, mnożąc wartości ewapotranspiracji dla miesięcy standardowych przez współczynnik korekcyjny  $b$ , uwzględniający rzeczywisty czas nasłonecznienia.

Zasoby termiczne i wodne obliczono dla przedziału czasowego czerwiec–sierpień, a więc dla tej części okresu wegetacyjnego, w której procesy wegetacji zachodzą najbardziej intensywnie i występują największe potrzeby wodne w przebiegającej części upraw rolniczych.

Wydzielono cztery regiony termiczne: chłodny, o sumie temperatury  $<1500^\circ\text{C}$ ; umiarkowanie ciepły, o sumie temperatury  $1500\text{--}1550^\circ\text{C}$ ; ciepły, o sumie temperatury  $1550\text{--}1600^\circ\text{C}$  i bardzo ciepły, o sumie temperatury  $1600\text{--}1650^\circ\text{C}$ . Wyróżniono również trzy regiony charakteryzujące warunki wodne: wilgotny  $> -60$  mm, umiarkowanie suchy  $(-60)\text{--}(-90)$  mm i suchy  $(-90)\text{--}(-120)$  mm (tab. 1, rys. 1).

## WYNIKI BADAŃ

W 30-leciu 1971–2000 największy obszar, bo 23% powierzchni Polski, zajmują region ciepły i suchy, obejmujący środkową część Pojezierzy Południowobałtyckich, północną część Nizin Środkowopolskich oraz część Pobrzeża Południowobałtyckiego i północną część Polesia. Region ciepły i umiarkowanie suchy zajmuje 15% powierzchni Polski. Obejmuje on obszar Nizin Sasko-Łużyckich, północną część Wyżyny Śląsko-Krakowskiej, zachodnią część Wyżyny Małopolskiej i wschodnią część Północnego Podkarpacia oraz Wyżynę Wołyńską. Większość północnej części kraju (9%) leży na terenie regionu chłodnego i umiarkowanie suchego. Region ten obejmuje Pobrzeża i Pojezierza, z wyjątkiem ich najbardziej zachodnich partii. Na południu kraju, na obszarze 20% powierzchni Polski, rozpościera się region ciepły i wilgotny, obejmujący południową część Wyżyny Śląsko-Krakowskiej, południowo-zachodnią część Nizin Środkowopolskich, Północne Podkarpacie, Zewnętrzne Karpaty Zachodnie, Podkarpacie Wschodnie, Beskidy Wschodnie oraz Centralne Karpaty Zachodnie (tab. 1, rys. 1).

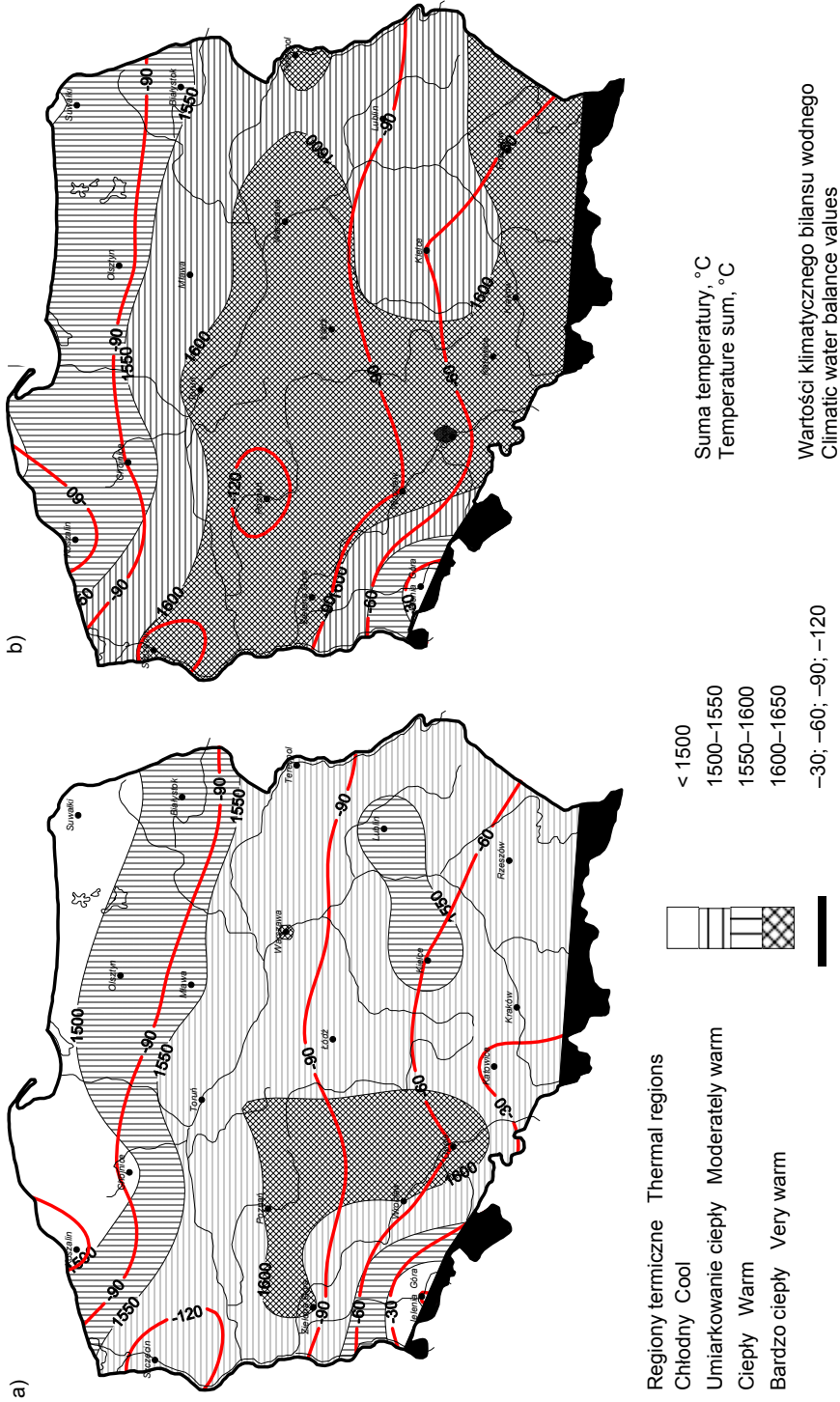
**Tabela 1.** Udział (%) poszczególnych typów pluwiotermicznych w okresach: 1971–2000 i 1981–2010 na obszarze Polski

**Table 1.** The share of particular pluviothermal regions in the period 1971–2000, and 1981–2010 (given as % of the Poland's area)

Okres Period	Region wilgotnościowy (klimatyczny bilans wodny, mm) Humidity region (climatic water balance, mm)	Region termiczny (suma temperatury, °C) Thermal region (temperature sum, °C)			
		chłodny cool <1500	umiarkowanie ciepły moderately warm 1500–1550	ciepły warm 1550–1600	bardzo ciepły very warm 1600–1650
	suchy dry (–90)–(–120)		6	23	5
1971– 2000	umiarkowanie suchy (–60)–(–90) moderately dry	9	14	15	4
	wilgotny humid > –60	1	2	20	1
	suchy dry (–90)–(–120)		4	18	30
1981– 2010	umiarkowanie suchy (–60)–(–90) moderately dry		13	11	8
	wilgotny humid > –60		3	3	10

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

W okresie 1981–2010 charakterystyczny jest zanik obszaru regionu chłodnego i znaczne zwiększenie się powierzchni regionu bardzo ciepłego z 14 do 48%. Region bardzo ciepły i suchy obejmuje południową część Pojezierzy Południowobałtyckich i środkową część Nizin Środkowopolskich i stanowi 30% powierzchni Polski. Powierzchnia regionu ciepłego i suchego nie zmieniła się znacznie w porównaniu z poprzednim wielolecieciem (tab. 1, rys. 1).



Rys. 1. Regiony pluwiotermiczne na obszarze Polski a) w latach 1971–2000 i b) w latach 1981–2010; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Pluviothermal regions in Poland a) in the years 1971–2000 and b) in the years 1981–2010; source: own elaboration

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Opracowanie jest kontynuacją badań nad wpływem globalnego ocieplenia na wzrost zasobów termicznych i jednocześnie zmniejszanie się zasobów wodnych spowodowanych wzrostem parowania w sytuacji postępującego ocieplenia i braku wyraźnych tendencji opadów atmosferycznych na obszarze Polski. Taka sytuacja powoduje, że wydzielone regiony termiczno-wilgotnościowe w kolejnych okresach i dla wartości estymowanych dla kolejnych kroków czasowych wykazują odpowiednio coraz to większe obszary oceniane jako ciepłe i suche. Wyniki badań można lokalizować jako aktualną ocenę zasobów pluwiotermicznych Polski z delimitacją regionów – pomiędzy dawnymi klasycznymi opracowaniami z lat 1881–1930 i 1931–1960, a projekcjami zmian klimatu w perspektywie czasowej końca XXI w. Aktualną ocenę rozumieć należy także jako uaktualnienie informacji o współczesnym klimacie Polski w stosunku do ostatniego publikowanego „Atlasu klimatu Polski” [LORENC 2005] za okres 1971–2000. Większość opracowań wykonana została metodą, w której zasoby ciepła wyrażone są sumami temperatury efektywnej  $\geq 10,0^{\circ}\text{C}$ , a zasoby wodne tzw. współczynnikiem hydrotermicznym Sielianałowa  $K = 10P/t$ , gdzie  $P$  oznacza sumę opadów, a  $t$  sumę dobowych wartości temperatury powietrza w okresie VI–VIII [ZIERNICKA-WOJTASZEK 2009; ZIERNICKA-WOJTASZEK, ZAWORA 2011], dlatego niemożliwe jest dokonanie bezpośrednich porównań wyników badań. Z przeprowadzonych badań wynika, że średnia temperatura w porównywanych okresach badawczych wzrosła o  $0,3^{\circ}\text{C}$ , klimatyczny bilans wodny za badane 3 miesiące (VI–VIII) zmniejszył się średnio o  $5,4$  mm, czyli  $1,8$  mm w skali miesiąca. Dla zakładanego przyrostu temperatury o  $1,0^{\circ}\text{C}$  daje to wartość  $6,0$  mm opadu zużytego na parowanie. Jest to wartość porównywalna z  $6,3$  mm, na jaką można szacować wzrost potrzeb wodnych na obszarze Polski w założonym scenariuszu wzrostu temperatury powietrza o  $1,0^{\circ}\text{C}$ , obliczony metodą regresji krokowej wielokrotnej dla modelu zależności uwilgotnienia wierzchniej warstwy gleby od temperatury powietrza i sumy opadów atmosferycznych dla przeciętnego miesiąca okresu wegetacyjnego [ZIERNICKA 2004].

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań – oszacowania zmian zasobów termicznych i wodnych na obszarze Polski w dwóch kolejnych okresach 1971–2000 i 1981–2010, w których zachodziły zmiany warunków termicznych i nie występowały wyraźne tendencje opadów atmosferycznych można sformułować następujące wnioski:

1. Obserwuje się wzrost powierzchni regionu termicznego bardzo ciepłego, o sumie temperatury w przedziale  $1600\text{--}1650^{\circ}\text{C}$  od 10% obszaru Polski w okresie 1971–2000 do 48% w okresie 1981–2010.

2. W badanych latach występuje wzrost powierzchni regionu suchego o wartości klimatycznego bilansu wodnego  $[(-90)-(-120)$  mm] od 34% obszaru kraju w okresie 1971–2000 do 52% w okresie 1981–2010.

3. Charakterystyczny jest zanik powierzchni regionu chłodnego o sumie temperatury  $<1500^{\circ}\text{C}$  w okresie 1981–2010 w porównaniu z 30-leciem 1971–2000.

4. Powierzchnia regionu bardzo ciepłego i jednocześnie suchego zwiększyła się sześciokrotnie z 5% w trzydziestoleciu 1971–2000 do 30% w latach 1981–2010.

## LITERATURA

- ARGUEZ A., VOSE R.S. 2011. The definition of the standard WMO climate normal: the key to deriving alternative climate normals. *Bulletin American Meteorological Society*. Vol. 92 s. 699–704.
- CZARNECKA M., NIDZGORSKA-LENCEWICZ M. 2012. Wieloletnia zmienność sezonowych opadów w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 12 Z. 2 (38) s. 45–60.
- JARRAUD M. 2013. WMO Report: The global climate 2001–2010: A decade of climate extremes. July 6. WMO. No. 1119.
- KOWALCZAK P. 2008. Zagrożenia związane z deficytem wody. Poznań. Wydaw. Kurpisz S.A. ss. 356.
- KOZUCHOWSKI K. 1996. Współczesne zmiany klimatyczne w Polsce na tle zmian globalnych. *Przeegląd Geograficzny*. T. 68. Z. 1–2 s. 79–98.
- KOZUCHOWSKI K., ŻMUDZKA E. 2001. Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku. *Przeegląd Geofizyczny*. T. 46. Z. 1–2 s. 81–90.
- LIVEZEY R.E., VINNIKOV K.Y., TIMOFEYeva M.M., TINKER R., VAN DEN DOOL H.M. 2007. Estimation and extrapolation of climate normals and climatic trends. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. Vol. 46 s. 1759–1776.
- LORENC H. 2005. Atlas klimatu Polski. Warszawa. IMGW ss. 116.
- MILLY P.C.D., BETANCOURT J., FALKENMARK M., HIRSCH R.M., KUNDZEWICZ Z.W., LETTENMAIER D.P., STOUFFER R.J. 2008. Stationarity is dead: whither water management? *Science*. Vol. 319. No. 5863 s. 573–574.
- NIERÓBCA A., KOZYRA J., MIZAK K., WRÓBLEWSKA E. 2013. Zmiana długości okresu wegetacyjnego w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 13. Z. 2 (42) s. 81–94.
- SOLOMON S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERYT K.B., TIGNOR M., MILLER H.L. (red.) 2007. *Climate change 2007: The physical science basis*. Cambridge and New York. Cambridge University Press ss. 996.
- THORNTHWAITE C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*. Vol. 38 (1) s. 55–94.
- WÓJCIK R., MIĘTUS M. 2014. Niektóre cechy wieloletniej zmienności temperatury powietrza w Polsce (1951–2010). *Przeegląd Geograficzny*. T. 86. Z. 3 s. 339–364.
- ZIERNICKA A. 2004. Globalne ocieplenie a efektywność opadów atmosferycznych. *Acta Agrophysica*. Vol. 3 (2) s. 393–397.
- ZIERNICKA-WOJTASZEK A. 2006. Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 1971–2000. W: *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*. Pr. zbior. Red. J. Trepiańska, Z. Olecki. Kraków. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ s. 139–148.
- ZIERNICKA-WOJTASZEK A. 2009. Weryfikacja rolniczo-klimatycznych regionalizacji Polski w świetle współczesnych zmian klimatu. *Acta Agrophysica*. Vol. 13 (3) s. 803–812.
- ZIERNICKA-WOJTASZEK A., ZAWORA T. 2011. Thermal regions in light of contemporary climate change in Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 20. No. 6 s. 1627–1632.
- ŻMUDZKA E. 2009. Współczesne zmiany klimatu Polski. *Acta Agrophysica*. Vol. 13 (2) s. 555–568.

Agnieszka ZIERNICKA-WOJTASZEK

## CLIMATIC WATER BALANCE IN POLAND IN THE LIGHT OF THE PRESENT DAY CLIMATE CHANGE

**Key words:** *climatic water balance, Poland, present day climate change, temperature*

### S u m m a r y

The aim of this study was to estimate changes in thermal resources and climatic water balance in Poland in two standard climate periods recommended by the World Meteorological Organization (WMO): 1971–2000, and 1981–2010. These periods were characterized by changes in thermal conditions and by a lack of clear precipitation tendencies. The thermal resources were determined by means of temperature sums, climatic water balance was calculated as a difference between the total precipitation and evaporation and potential evaporation was determined by means of the Thornthwaite method. The thermal and water resources were calculated for the time period from June to August, in other words, for this part of the vegetation season, in which vegetation processes are most intense and water needs are greatest for the vast majority of agricultural crops. Four thermal regions and three regions characterizing water conditions were allocated. It was found that the very warm areas, with temperature sums in the range of 1600–1650°C, increased from 10 to 48% of the country area, and the dry zone with water balance values from –90 to –120 mm increased from 34 to 52%. A characteristic feature was the disappearance of the cool regions with temperature sums of <1500°C in the period 1981–2010 in comparison with the years 1971–2000. The area of the very warm and, at the same time, dry regions increased six times from 5% in 1971–2000 to 30% in the years 1981 to 2010.

**Adres do korespondencji:** dr hab. inż. A. Ziernicka-Wojtaszek, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków; tel. +48 12 662-40-12, e-mail: [aziernik@poczta.fm](mailto:aziernik@poczta.fm)