

Wpływ wysokości nad poziomem morza na przyrost radialny świerka *Picea abies* (L.) Karst. z Tatr oraz *Picea schrenkiana* sp. z Gór Czatkalskich (Tien-Szan)

Barbara Czajka, Michał Magnuszewski, Ryszard J. Kaczka

Abstrakt. Piętrowość jest jedną z najważniejszych cech opisujących środowisko górskie. Charakter zmian środowiska wraz z wysokością jest powiązany z typem masywu, jak i regionem klimatycznym, w którym się znajduje. W pracy porównano wpływ klimatu na przyrost radialny świerków rosnących w Tatrach (*Picea abies*) oraz w górach Tien-Szan w Kirgistanie (*Picea schrenkiana*). Głównym celem było: a) określenie wrażliwości na wybrane elementy klimatu dwóch gatunków świerków rosnących w odmiennych środowiskach: zimnym i wilgotnym (Tatry) oraz zimnym i półsuchym (Tien-Szan); b) określenie zmian zachodzących w ich wrażliwości wraz z wysokością n.p.m. Zbudowano chronologie dla 5 stref wysokościowych od 850 do 1500 m n.p.m. w Tatrach oraz dla 5 stanowisk zlokalizowanych na wysokościach od 1350 do 1900 m n.p.m. w rezerwacie Sary-Chelek w górach Tien-Szan. Wzrost świerka w Tatrach determinowany jest przez temperaturę lata (czerwiec–lipiec). Z kolei świerki Schrenka reagują pozytywnie na letnie opady (czerwiec–lipiec), przy czym najsilniejszy wpływ ma roczna suma opadów. Stwierdzono tam także silny negatywny wpływ na przyrost roczny drzew wysokiej temperatury w lecie. W Tatrach wraz z wysokością n.p.m. wyraźnie wzrasta zależność wzrostu świerków od temperatury (pozytywna) oraz od opadów (negatywna). U podnóża gór czynniki te są praktycznie nieistotne dla przyrostu radialnego drzew. W Górach Czatkalskich nie stwierdzono tak wyraźnej pionowej zmienności relacji klimat–przyrost radialny.

Słowa kluczowe: piętrowość, świerk pospolity, świerk Schrenka, Tatry, Tien-Szan

Abstract. Altitude-related changes of climate/growth response of *Picea abies* (L.) Karst. in the Tatras and *Picea schrenkiana* sp. in the Chatkal Range (Tien-Shan). The altitudinal change of climate is one of the main features describing the mountain environment. The character of changes is related to both, the type of mountains and the climatic region they are located in. This study presents a comparison of climate influence on the growth of two spruce species, one located in the Tatra Mountains (*Picea abies*), the Carpathians (Poland), the other in the Tien-Shan (*Picea schrenkiana*) (Kyrgyzstan). We aimed at testing the altitude related changes of climate/growth response of two mountain regions characterized by contrasting environment. Sites chronologies were built from 5 altitude related intersects from 850 to 1500 m a.s.l. in the Tatras and from 1350 to 1900 m a.s.l. in Tien-Shan Mountain. The Norway spruce growing in the Tatras is related to summer temperature (June-July). The Shrenk spruce is positively sensitive to higher summer precipitation (June-July) but the highest correlation refers to yearly precipitation. In the same time

they are negatively sensitive on temperature. In the Tatras the positive influence of summer temperature negative of precipitation increases with altitude. Those factors at the foothills of the mountains are practically irrelevant to the radial growth of trees. In the Chatkal Range the altitudinal changes of such relations are not so pronounced.

Key words: altitude changes, Norway spruce, Shrenk spruce, Tatras, Tien-Shan

Wstęp

Wraz z wysokością nad poziomem morza zmieniają się warunki wegetacji drzew, spada temperatura powietrza, rośnie natomiast ilość opadów. Szerokość geograficzna, strefa klimatyczna oraz typ regionu górskiego warunkują charakter tych zmian oraz przystosowanie się środowiska biotycznego, w tym gatunków drzewiastych, do lokalnych warunków. Czynnikiem globalnymi zmieniającymi charakter środowiska zarówno w Tatrach, jak i Górach Czatkałskich, są szerokość geograficzna oraz wyniesienie i wielkość masywu górskiego.

Celem pracy było porównanie wpływu temperatury powietrza i opadów na przyrost radialny dwóch gatunków świerków oraz prześledzenie zmian tych relacji w gradiencie wysokościowym w dwóch odmiennych, kontrastujących ze sobą środowiskach.

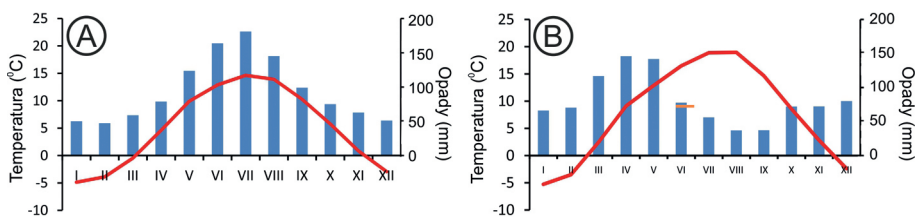
Teren i obiekt badań

Obszar Kirgistanu w 93% stanowią obszary górskie, cały kraj podzielony został na osiem regionów leśnych różniących się charakterem gór. Teren badań znajduje się w III regionie – Fergano-Chatkal. Lasy świerkowe rosnące na terytorium Kirgistanu występują od 1400 w regionie III Fergano-Chatkal do 3200 m n.p.m. w Regionie VII Issyk-Kull. Świerk Schrenka jest gatunkiem ściśle związanym z górami Tien-Szan i jest jednym z głównych gatunków lasotwórczych tego kraju (Grisa i in. 2008). Świerk pospolity zajmuje większy areał. Jego północny zasięg kończy się na terytorium Norwegii, a południowy – w Macedonii. Zachodnia granica przebiega przez południowo-wschodnią Francję, natomiast wschodnia osiąga przedgórze Uralu (Boratyński i Bugała 1998). W Polsce świerk występuje w naturalnym zasięgu w północno-wschodniej oraz południowej Polsce. Ze względu na duże zróżnicowanie warunków wysokościowych oraz, co za tym idzie, klimatycznych na terenie Kirgistanu do porównania charakterystyki przyrostu wytypowany został świerk rosnący w III Regionie Leśnym w Rezerwacie Biosfery Sary-Chelek, rosnący między 1300 a 1950 m n.p.m. Świerk pospolity w Tatrach (masyw Karpat Zachodnich) występuje w gradiencie wysokościowym od 800 m n.p.m. do 1500 m n.p.m. Zbliżona lokalizacja, względem równoleżników (ryc. 1) Tatr (49°N) i Gór Czatkałskich w kirgiskiej części Gór Tien-Szan (41°N) powinna skutkować podobnym zasięgiem pionowym lasu w obydwu masywach. Jednakże znacznie większa masywność Gór Czatkałskich (rozciągłość ~225 km, najwyższy szczyt – 4503 m n.p.m.) w porównaniu z Tatrami (rozciągłość ~60 km, najwyższy szczyt 2655 m n.p.m.) skutkuje występowaniem lasu na różnej wysokości n.p.m. W Tatrach przebiega ona na średniej wysokości 1430 m n.p.m. (Guzik 2008), a w badanym masywie Zachodniego Tien-Szan na wysokości 1900–2000 m n.p.m.



Ryc. 1. Lokalizacja badanych grup górskich na tle Eurazji
 Fig. 1. Location of studied mountain ranges in Eurasia

Według klasyfikacji Köppena Tatry mają cechy klimatu chłodnego strefy umiarkowanej o charakterze przejściowym między klimatem kontynentalnym a morskim. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi $5,1^{\circ}\text{C}$ (Kaczorowska 1986). Jest to klimat wilgotny ze średnimi rocznymi opadami od 1200 u podnóży do 2000 mm na najwyższych szczytach (ryc. 2A). Najwyższe opady notuje się w okresie letnim (180 mm w lipcu) przy najwyższej temperaturze w tym samym okresie (średnio 15°C w lipcu). Góry Czatkalskie charakteryzują się z kolei klimatem górskim kontynentalnym suchym. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi $7,9^{\circ}\text{C}$ (ryc. 2B). Najcieplejszym miesiącem jest sierpień ze średnią temperaturą równą 19°C . Przeciętna roczna suma opadów wynosi 993 mm. Najwięcej opadów występuje wiosną (120–150 mm), a najmniej w miesiącach najcieplejszych (czerwiec–wrzesień), maksymalnie do 50 mm miesięcznie. W tak suchym regionie wykształciła się również górna granica suchości, powyżej której drzewa nie występują ze względu na brak wilgoci. W warunkach klimatu tatrzańskiego dolna granica suchości nie występuje.



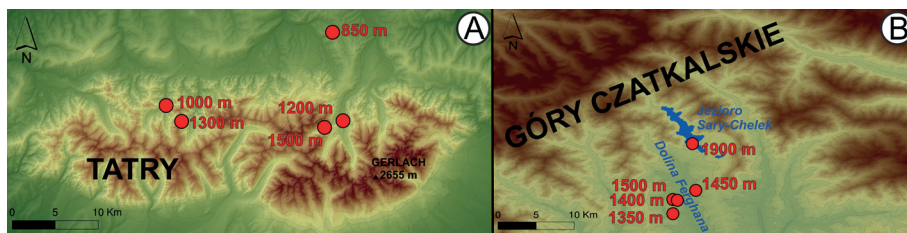
Ryc. 2. Klimatogramy dla Tatr (A) i Gór Czatkalskich (B) opracowane dla wielolecia 1966–2008
 Fig. 2. Climographs for the Tatras (A) and Chatkal Range (B) based on data from 1966–2008

Iglastymi gatunkami lasotwórczymi w badanych obszarach są świerk pospolity (*Picea abies* (L.) Karst) i świerk Schrenka (*Picea schrenkiana*). Mimo znacznej odległości (~4000 km), która dzieli występowanie obydwu gatunków świerka, w kwestii genetycznej są one blisko spokrewnione (Magnuszewski i in. 2014). Świerk pospolity i świerk Schrenka są gatunkami silnie polimorficznymi, tworząc mieszańce wewnątrz populacji jak i na granicach występowania. Wskazuje na to występowanie w populacjach obu gatunków, jak i pomiędzy nimi różnych pokrojów szyszek, igieł oraz zróżnicowany pokrój drzew (Boratyński i Bugała 1998; Orłow 1989; Bykow 1985). Na północnej granicy występowania świerka Schrenka oraz wschodniej świerka

pospolitego gatunki te stykają się i mogą tworzyć mieszańce (Bykow 1985). Duże podobieństwa genetyczne między obydwoma badanymi gatunkami wyklucza czynnik ten jako odpowiedzialny za zróżnicowanie wrażliwości na czynniki egzogeniczne wśród badanych populacji. Ich przyrost determinowany jest głównie przez typ klimatu panującego na terenie ich występowania.

Material i metody

W obu masywach wytypowano 5 przedziałów wysokościowych, w których pobierano odwierty ze świerków. W Tatrach nawiercano drzewa rosnące na wysokościach od 850 do 1500 m n.p.m., a w Górach Czatkałskich – od 1350 do 1900 m n.p.m. (ryc. 3). Najwyżej zlokalizowane stanowiska położone były w ekotonie górnej granicy lasu, a najniższe w dnie głównych dolin.



Ryc. 3. Lokalizacja stanowisk badawczych w Tatrach (A) i Górach Czatkałskich (B)

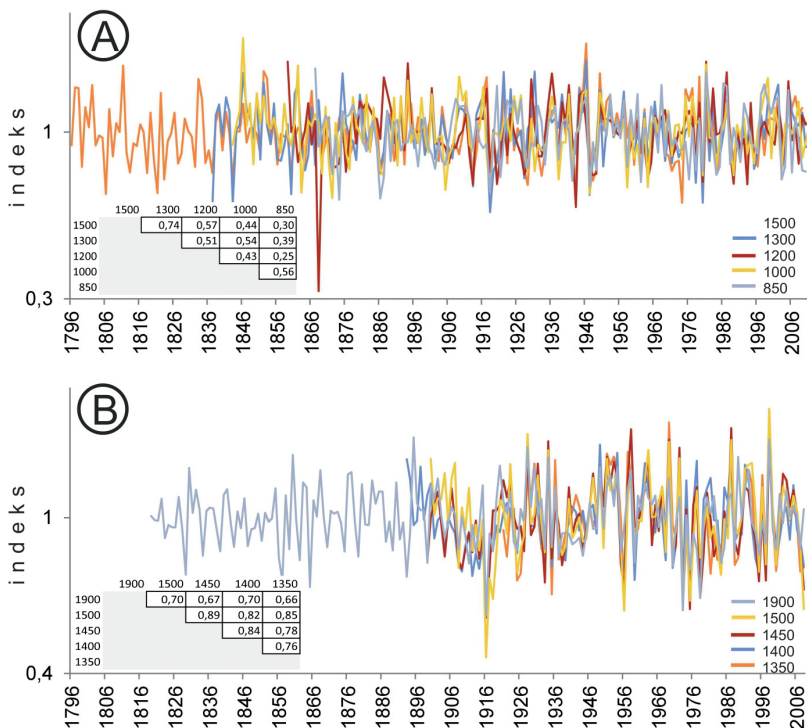
Fig. 3. Study sites location in the Tatras (A) and in the Chatkal Range (B)

Szerokości przyrostów radialnych zmierzono za pomocą oprogramowania Coorecorder firmy Cybis Elektronik & Data AB. Jakość pomiarów sprawdzono wizualnie i statystycznie w oprogramowaniu CDendro oraz Cofecha (Grissino-Mayer 2001). Wykorzystując program ARSTAN (Cook i Holmes 1986; Holmes i in. 1986), opracowano rezydualne chronologie stanowiskowe złożone z 13 do 22 drzew na stanowiskach z Tien-Szanu oraz z 27 do 60 dla Tatr. Następnie, bazując na współczynniku korelacji Pearsona, przeprowadzono analizy dendroklimatyczne między chronologiami i dwoma podstawowymi elementami klimatu: średnią miesięczną temperaturą powietrza oraz miesięczną sumą opadów z lat 1966–2008 z bazy CRU 3.1 (Harris i in. 2013) dla Tatr oraz ze stacji Sary-Chelek dla Gór Czatkałskich.

Wyniki i dyskusja

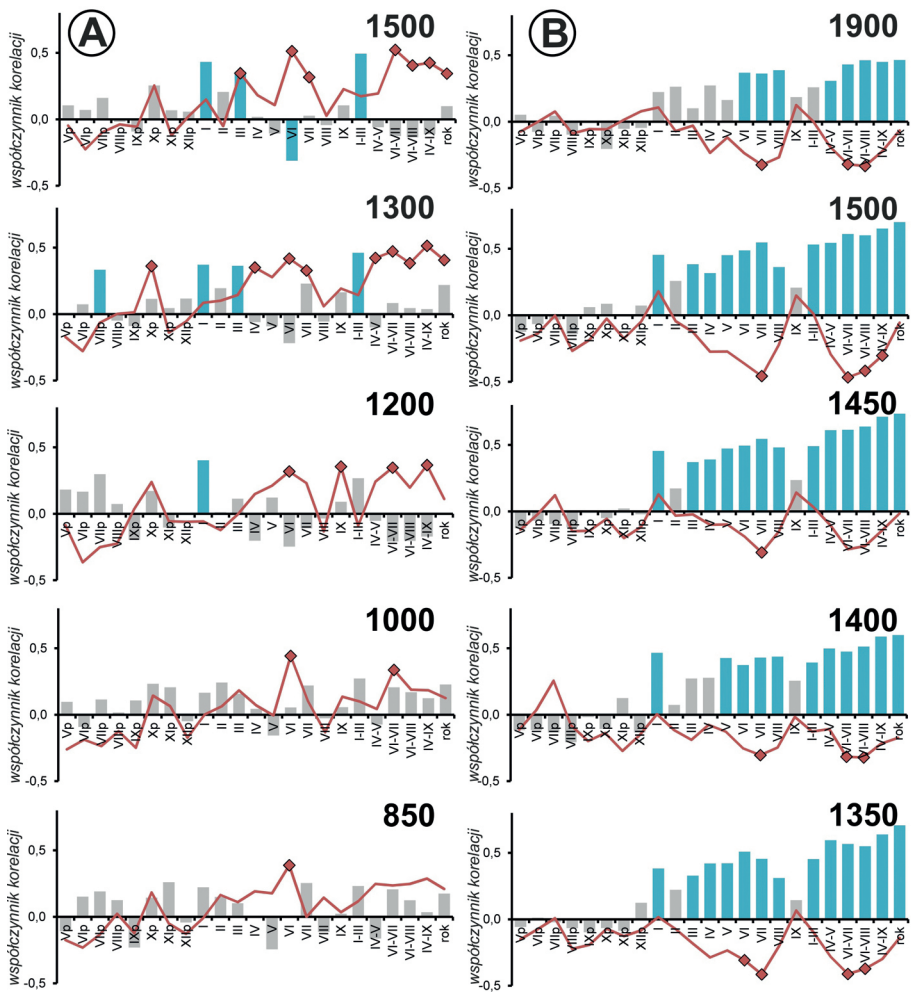
Najdłuższe chronologie stanowiskowe zarówno z Tatr, jak i Gór Czatkałskich pochodzą z obszaru górnej granicy lasu i sięgają początku XIX w. (ryc. 4). Pozostałe chronologie z Tatr są niewiele młodsze, z najkrótszą z wysokości 1200 m n.p.m. (1859–2012). Chronologie z pozostałych wysokości z Gór Czatkałskich są znacznie krótsze i sięgają do początku XX w. Chronologie stanowisk w gradiencie wysokościowym w Tatrach są do siebie dość podobne, na co wskazują wartości współczynników korelacji od 0,43 (1000 vs 1200 m n.p.m., $P < 0,05$) do 0,74 (1300 vs 1500 m n.p.m., $P < 0,05$). Przebieg chronologii stanowiska położonego u podnóża gór (850 m n.p.m.) charakteryzuje się dużą odmiennością od wyżej zlokalizowanych stanowisk, co może być spowodowane antropogenicznym charakterem tych lasów (Fabijanowski 1955). W Górach Czatkałskich podobieństwo chronologii jest bardzo wysokie. Współczynnik korelacji wynosi od

0,66 (1350 vs 1900 m n.p.m., $p < 0,05$) do 0,89 (1450 vs 1500 m n.p.m., $p < 0,05$) Największe podobieństwo wykazują chronologie ze stanowisk zlokalizowanych najbliżej siebie (1900 vs. 1500 $r = 0,70$; 1500 vs. 1450 $r = 0,89$; 1450 vs. 1400 $r = 0,84$). Wyróżnia się jedynie stanowisko najwyżej położone (1900 m n.p.m.), korelujące najsłabiej z pozostałymi.



Ryc. 4. Rezydualne chronologie stanowiskowe z Tatr (A) oraz Gór Czatkałskich (B) wraz z wartościami współczynnika korelacji obrazującymi stopień podobieństwa między nimi
Fig. 4. Residual site chronologies from the Tatras (A) and the Chatkal Range (B) with matrix of coefficient correlation values

Wzrost świerków w Tatrach zdeterminowany jest przez temperaturę lata, co zgodne jest z dotychczasowymi badaniami. Zależność ta wzrasta wraz ze wzrostem wysokości n.p.m., co odnotowano również dla Beskidów Zachodnich (Wilczyński i Feliksik 2004). Na obszarze górnej granicy lasu jest to temperatura czerwca–lipca (ryc. 5A) i tu związek szerokości słoju z temperaturą jest najsilniejszy ($r = 0,52$, $P < 0,05$). Pośrodku regła górnego (1300 m n.p.m.) jest to temperatura całego okresu wegetacji ($r = 0,51$; $P < 0,05$). Poniżej 1200 m n.p.m. zależność szerokości przyrostu od temperatury jest już mniejsza, a na najniżej położonym stanowisku istotna jest jedynie temperatura czerwca ($r = 0,38$). Dotychczasowe badania dendroklimatyczne nad wpływem piętrowości na wzrost świerków w Tatrach i Alpach również wskazują, że najistotniejszym czynnikiem warunkującym wzrost jest temperatura lata (Bednarz 1983; Frank i Esper 2004; Savva i in. 2006). Savva i in. (2006) zaobserwowali również znaczący wpływ temperatury



Ryc. 5. Zależność pomiędzy szerokością słoży świerka pospolitego (A) oraz świerka Schrenka (B) a średnią miesięczną temperaturą powietrza (czerwona linia: wartości istotne statystycznie $p = 0,05$ oznaczone rombem) oraz sumą opadów (kolumny: wartości istotne statystycznie $p = 0,05$ oznaczone niebieskim kolorem) na różnych wysokościach n.p.m.

Fig. 5. The response of Norway (A) and Shrenk (B) spruces to monthly mean temperature (red line: values statistically significant marked by diamonds, $p = 0.05$) and monthly sum of precipitation (blue columns – values statistically significant, $p = 0.05$) on a different altitudes. Correlation coefficients between the mean monthly climate parameters and annual tree-ring widths for Norway spruces (A) and Shrenk spruces (B) on a different altitudes.: temperature- red line, values statistically significant marked by diamonds, $p = 0.05$; precipitation – blue columns – values statistically significant, $p = 0.05$

okresu wegetacji dla populacji rosnących poniżej 1200 m n.p.m., czego w niniejszych badaniach nie odnotowano. W Górach Czatalskich temperatura ma podobnie istotny wpływ na wzrost świerków Schrenka, ale jest to wpływ negatywny – im temperatura jest wyższa, tym świerki wykształcają węższe przyrosty roczne (ryc. 5B). Zależność ta jest istotna statystycznie dla temperatury lata (średnia lipca, czerwca–lipca oraz czerwca–sierpnia), czyli dla najcieplejszego i najsuchszego okresu w roku. Ma ona najsilniejszy wpływ na wielkość przyrostu radialnego świerków z wysokości 1500 m n.p.m. ($r = 0,47$, $P < 0,05$). Dotąd nie prowadzono badań dendroklimatycznych nad świerkami Schrenka, rosnącymi w klimacie suchym i gorącym, a jedynie w klimacie o ciepłych i wilgotnych latach (Wang i in. 2005).

Oprócz temperatury istotnym czynnikiem warunkującym wzrost świerków w badanych obszarach jest ilość dostępnej wody wyrażona za pomocą miesięcznych sum opadów. W Tatrach wysokie sumy opadów letnich wpływają negatywnie na wzrost świerków jedynie w najwyższych lokalizacjach, w ekotonie górnej granicy lasu ($r = -0,31$). Ważna jest też duża ilość opadów pod koniec zimy (maksymalna zależność od opadów styczeń–marzec, $r = 0,49$, $P < 0,05$), widoczna na najwyższych wysokościach, od górnej granicy lasu do 1200 m n.p.m. Wzrost świerków rosnących najniżej (1000 m oraz 850 m) nie jest zależny od opadów. W Górach Czatalskich ilość wody ma kluczowe znaczenie dla wzrostu tamtejszych świerków. Najsilniejsze zależności (maksymalnie $r = 0,73$) między przyrostem radialnym a warunkami pluwiальnymi zanotowano dla rocznej sumy opadów. Jest to definitywnie czynnik limitujący ich wzrost. Zależność ta występuje w niemal całym gradiencie wysokościowym. Jedynie drzewa rosnące na stanowisku przy górnej granicy lasu (1900 m n.p.m.) mniej odczuwają brak wody, co może być spowodowane bliskością lokalnego dużego zbiornika wodnego – Jeziora Sary-Chelek.

Wnioski

- Chronologie rezydualne stanowisk w Górach Czatalskich wyróżniają się bardzo wysokim podobieństwem. Chronologie tatrzańskie nie wykazują tak silnych związków, szczególnie odbiega tutaj stanowisko położone najniżej (850 m n.p.m.).
- Świerki w Tatrach wykazują silną korelację szerokości przyrostów z temperaturą lata (czerwiec–lipiec). Związek ten jest najsilniejszy dla najwyższej położonych stanowisk i maleje wraz ze spadkiem wysokości n.p.m. Opady nie mają tak znaczącego wpływu na ich wzrost jak temperatura.
- Suma opadów rocznych jest głównym czynnikiem determinującym wzrost świerków Schrenka w górach Tien-Szan. Zależność wzrostu od opadów jest mniejsza jedynie na stanowisku przy górnej granicy lasu.
- Na wysokości 1900 m n.p.m. oba parametry osiągają poziom, na którym drzewa nie cierpią z powodu suszy, co można tłumaczyć modyfikacją lokalnych warunków hydroklimatycznych przez obecność Jeziora Sary-Chelek.

Literatura

- Bednarz Z. 1983. Dendroclimatological investigations in the Tatra Mountains. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne, 57: 127–131.
- Boratyński A., Bugała W. 1998. Biologia świerka pospolitego. Polska Akademia Nauk Instytut Dendrologii, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

- Bykow B.A. 1985. Yelovye lesa Tien-Szana. Akademia Nauk Kazahskoj SSR, Instytut Botaniki. Izdatelstwo Nauka Kazahskoj SSR, Alma-Ata.
- Cook E.R., Holmes R.L. 1986. User's manual for computer program ARSTAN. W: Tree ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin.
- Fabijanowski J. 1955. Lasy tatrzańskie. W: Szafer W. (red.). Tatrzański Park Narodowy, PAN, Kraków.
- Frank D., Esper J. 2005. Characterization and climate response patterns of a high-elevation, multi-species tree-ring network for the European Alps. *Dendrochronologia*, 22: 107–121.
- Grisa E., Venglovsky B., Sarymsakov Z., Carraro G. 2008. Forest typology in the Kyrgyz Republic. Practice oriented document for field assessment and sustainable management of forest stands. Biszkek.
- Grissino-Mayer H. D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57: 205–221.
- Guzik M. 2008. Analiza wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych na kształtowanie się zasięgu lasu i kosodrzewiny w Tatrach. Praca Doktorska, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja, Wydział Leśny, Katedra Botaniki Leśnej i Ochrony Przyrody, Kraków.
- Harris I., Jones P. D., Osborn T.J., Lister D.H. 2013. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3. 10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34: 623–642.
- Holmes R.L., Adams R.K., Fritts H.C. 1986. Tree-ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin with procedures used in the chronology development work including users manuals for computer programs COFECHA and ARSTAN. *Chronology Series VI*. University of Arizona. Tuscon: 50–56.
- Kaczorowska Z. 1986. Pogoda i klimat. Warszawa, WSiP.
- Magnuszewski M., Nowakowska J.A., Zasada M., Orozumbekov A. 2014. Charakterystyka genetyczna świerka Schrenka (*Picea schrenkiana*) w gradiencie wysokościowym i geograficznym gór Tien-Shan w Kirgistanie, *Sylwan* 158 (5): 361–369.
- Orłow W.P. 1989. Kultury yeli Tien-Szanskiej, Akademia Nauk Kirgijskiej SSR, Instytut Biologii, Otdel Lesa. Frunze.
- Savva Y., Oleksyn J., Reich P.B., Tjoelker M.G., Vaganov E.A., Modrzyński J. 2006. Interannual growth response of Norway spruce to climate along an altitudinal gradient in the Tatra Mountains, Poland. *Trees*, 20: 735–746.
- Wang T., Ren H., Ma K. 2005. Climatic signals in tree ring of *Picea schrenkiana* along an altitudinal gradient in the central Tianshan Mountains northwestern China. *Trees*, 19: 735–741.
- Wilczyński S., Feliksik E. 2004. The dendrochronological monitoring of the Western Beskid Mountains (southern Poland) on the basis of radial increments of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Electronic Journal of Polish Agricultural University*, 7 (2) ser. Forestry.

Barbara Czajka¹, Michał Magnuszewski², Ryszard J. Kaczka¹

¹ Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi
barczajka@wp.pl
ryszard.kaczka@us.edu.pl

² Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Leśny,
Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu
michal.magnuszewski@wl.sggw.pl