SYLWAN 159 (4): 336-344, 2015

MICHAŁ MAGNUSZEWSKI

Sygnał klimatyczny w przyrostach rocznych świerka Schrenka (*Picea schrenkiana* sp.) rosnącego w górach Tien-Shan w Kirgistanie

Climatic signal in the tree rings of *Picea schrenkiana* growing in the Tien-Shan Mountains in Kyrgyzstan

ABSTRACT

Magnuszewski M. 2015. Sygnał klimatyczny w przyrostach rocznych świerka Schrenka (*Picea schrenkiana* sp.) rosnącego w górach Tien-Shan w Kirgistanie. Sylwan 159 (4): 336-344.

Paper studies the influence of climate conditions on radial growth of the endemic Schrenk spruce in the Tien-Shan Mountains in Kyrgyzstan. The research was conducted in four forest regions of Kyrgyzstan, where the analysed species occupies the largest area and along altitudinal gradient. Analysed climate factors included mean monthly temperature and precipitation. Additionally, similarity of growth patterns among study sites were compared with GL ratio and pointer years were determined to characterise situations that resulted in growth extremes. The results showed that high Tien-Shan Mountains create different local conditions in individual forest regions for growth of Schrenk spruce. The most important radial growth controlling factor is precipitation. When analyzing the climate-increment reaction it was found that it is affected by the geographical location, altitude and exposure of the analyzed site. Generally, at lower altitudes the main limiting factor was precipitation, while at higher elevations – temperature. This relationship, however, was not observed in all of the investigated regions. It can be affected by a specific climate of the high Tien-Shan causing different reactions of trees in various places. Because of this, the analyses of the Schrenk spruce radial increments should be performed separately within the existing forest regions.

KEY WORDS

Picea schrenkiana, dendroclimatology, Kyrgyzstan

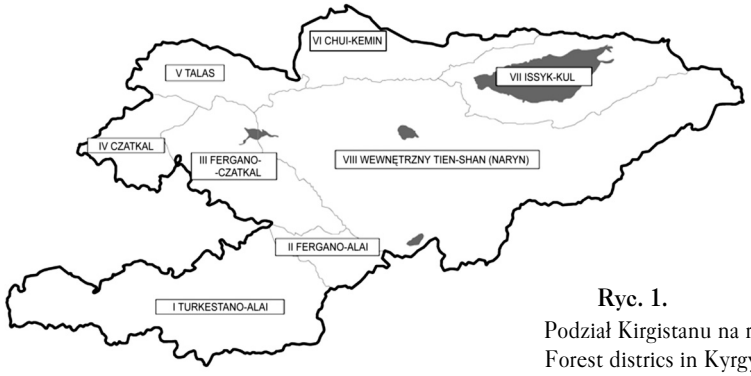
ADDRESSES

Michał Magnuszewski – e-mail: michal.magnuszewski@gmail.com

Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu, SGGW w Warszawie;
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

Ukształtowanie terenu w Kirgistanie jest bardzo zróżnicowane, co związane jest z obecnością pasma gór Tien-Shan, które zajmują 93% powierzchni kraju. Efektem tego jest podział Kirgistanu na osiem różniących się pod względem warunków klimatycznych regionów leśnych (ryc. 1). Lasy, które występują na terenie Kirgistanu, są zróżnicowane w poszczególnych regionach pod względem składu gatunkowego i udziału poszczególnych gatunków. Jednym z nich jest świerk Schrenka, który tworzy zwarte drzewostany leśne oraz występuje w większości regionów leśnych Kirgistanu [Gan 1970; Grisa i in. 2008].



Ryc. 1.
Podział Kirgistanu na regiony klimatyczne
Forest districts in Kyrgyzstan

Na terenie Tien-Shanu pierwsze badania dendrochronologiczne na świerku Schrenka prowadzone były w południowym Kazachstanie przez Borszewą [1981a, b, 1986]. W chińskiej części Tien-Shanu, w autonomicznym regionie Xinjiang Uygur, prace prowadzili Wang i in. [2005]. Współczesne badania na świerku Schrenka w Kirgistanie zapoczątkował w 1995 roku Schweingruber. Stworzył on chronologie, które obecnie dostępne są w bazie danych dendrochronologicznych ITRDB (http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring). Kolejne badania prowadziły Solomina i Maksimowa [2010], które analizowały przyrost różnych populacji z górnej granicy lasu – na wysokości 3000 m n.p.m. Maksimowa [2011a] scharakteryzowała odpowiedź dendroklimatyczną świerka Schrenka wzdłuż gradientu wysokościowego. Kolejne badania prowadzone przez Maksimową [2011b] miały na celu stworzenie długoletniej chronologii dla świerka Schrenka z doliny Enylczek, położonej w północnej części Kirgistanu, na północno-wschodniej granicy regionu Issyk-Kul oraz Chin. Najnowsze prace, charakteryzujące zależność pomiędzy czynnikami atmosferycznymi a przyrostem radialnym analizowanego gatunku, prowadzili w Rezerwacie Biosfery Sary-Chelek Magnuszewski i in. [2013, 2015].

Celem niniejszej pracy była analiza dendroklimatyczna przyrostów świerka Schrenka w naturalnym zasięgu jego występowania w górach Tien-Shan na terenie Kirgistanu.

Materiał i metody

Badania przeprowadzone zostały w tych regionach leśnych Kirgistanu, w których świerk Schrenka ma najwyższy udział podawany przez Gana [1970] oraz Grisę i in. [2008]. Wybrano cztery regiony: VII Issyk-Kul (udział świerka Schrenka 52%), VI Chui-Kemin (27%), VIII Wewnętrzny Tien-Shan (27%) oraz III Fergano-Czatkal (4%). Powierzchnie badawcze zakładane były według wzrastającego gradientu wysokościowego pasm górskich Tien-Shanu: od 1350 m n.p.m. w regionie Fergano-Czatkal do 2950 m n.p.m. w regionie Wewnętrzny Tien-Shan (tab.). Położenie powierzchni zaplanowano tak, aby obejmowały dolną oraz górną granicę lasu oraz aby uwzględniona została w poszczególnych regionach leśnych wysokość pośrednia. Dodatkowo starano się, aby górna granica powierzchni badawczych z poszczególnych regionów leśnych znajdowała się na wysokości odpowiadającej dolnej granicy z regionu charakteryzującego wyższe pasmo. Badane drzewostany świerkowe występowały przede wszystkim na wystawach północnych (tab.).

Materiał badawczy zebrano w latach 2010-2011. Powierzchnie zlokalizowane były tak, aby pobrana próba odzwierciedlała warunki ekologiczne panujące wewnątrz drzewostanu i była odizolowana od oddziaływania warunków skraju lasu. Drzewa, z których pobierane były wywierty, pochodziły z górnych klas biosocjalnych (I i II klasa Krafta), co miało zminimalizować działanie czynników innych niż klimatyczne [Schweingruber i in. 1990b; Zielski, Krąpiec 2004]. Wywierty

Tabela.
Charakterystyka powierzchni badawczych
Characteristic of study plots

	N	E	Wysokość [m n.p.m.] Altitude [m a.s.l.]	Nachylenie Slope [°]	Ekspozycja Exposition	$d_{1,3}$ [cm]	Zakres chronologii Chronology span
III Fergano-Czatkal							
FC1	41°46,543'	71°57,254'	1350	45	N	36,7	1904-2009
FC2	41°47,669'	71°56,915'	1400	13	N	33,7	1830-2009
FC3	41°48,022'	71°56,622'	1450	25	N	42,9	1884-2009
FC4	41°48,429'	71°58,439'	1500	40	N	49,1	1818-2009
FC5	41°87,117'	71°97,060'	1900	30	N	57,8	1773-2009
FC6	41°30,593'	73°00,607'	2000	45	N-E	21,9	1870-2011
VI Chui-Kemin							
CK1	42°39,336'	76°01,572'	1900	45	N	56,2	1899-2009
CK2	42°39,261'	76°01,578'	1950	45	N-E	49,2	1879-2009
CK3	42°39,235'	76°01,538'	2050	45	N	48,5	1897-2009
CK4	42°53,578'	76°09,802'	2300	30	N	35,6	1890-2011
CK5	42°51,180'	76°35,348'	2350	30	N	48,6	1835-2011
CK6	42°53,500'	76°09,878'	2400	32	N	47,1	1874-2011
CK7	42°51,297'	76°37,380'	2400	30	N	52,2	1783-2011
CK8	42°54,005'	76°12,260'	2700	30	N	51,4	1801-2011
VII Issyk-Kul							
IK1	42°25,494'	78°25,351'	2175	30	N-E	61,6	1891-2009
IK2	42°19,445'	78°14,373'	2300	30	N-W	59,8	1847-2009
IK3	42°19,503'	78°76,505'	2400	25	N	63,4	1865-2009
IK4	42°24,057'	78°28,078'	2550	30	N	55,6	1916-2011
IK5	42°16,697'	78°16,271'	2800	37	N	62,3	1818-2009
IK6	42°91,421'	78°17,882'	2800	20	N	65,3	1782-2009
VIII Wewnętrzny Tien-Shan							
N1	41°24,705'	76°11,213'	2400	20	N-E	55,6	1893-2011
N2	41°23,479'	76°11,532'	2950	45	N-W	42,5	1831-2011
N3	41°23,388'	76°11,556'	2950	45	N-E	44,3	1710-2011

pobrano za pomocą świdra Presslera, według standardowego postępowania dendrochronologicznego.

Pomiaru szerokości przyrostów rocznych dokonano za pomocą programu CooRecorder 7.3 (www.cybis.se). Następnie w programie CDdendro 7.3 (www.cybis.se) przeprowadzono wstępne analizy uzyskanych pomiarów, które posłużyć miały do wyselekcjonowania próbek najmniej podobnych do pozostałych. Do budowy chronologii zastosowano programy z pakietu DPL [Holmes 1999]. W celu stworzenia chronologii wykonano najpierw programem COFECHA [Holmes 1983] analizę mającą na celu wyłączenie prób o niskiej korelacji z pozostałymi. Do dalszych analiz zakwalifikowano ostatecznie 397 próbek. Następnie za pomocą programu ARSTAN wykonano podwójną detrendyzację z zastosowaniem funkcji wykładniczej o ujemnym wykładniku [Cook, Holmes 1986; Cook, Kairiukstis 1990]. Do analiz zależności między przyrostem radialnym a warunkami przyrostu wykorzystane zostały chronologie rezydualne. Do określenia wpływu czynników klimatycznych na przyrost posłużyła korelacja prostoliniowa Pearsona. Analizę przeprowadzono dla okresu 21 miesięcy. Dodatkowo, dla poszczególnych lokalizacji, wyznaczone zostały lata

wskaźnikowe [Schweingruber i in. 1990a], do czego użyto programu Weiser [Gonzalez 2001]. Dla chronologii obliczony został również współczynnik zbieżności GL (niem. Gleichleaufigkeit koeffizient) [Eckstein, Bauch 1969; Huber 1970], mówiący o zgodności przebiegu krzywych dendrochronologicznych. Za Ecksteinem i Bauchem [1969] przyjmuje się, że chronologie charakteryzujące się wartością GL powyżej 65% można uznać za podobne sobie przy poziomie istotności α=0,05.

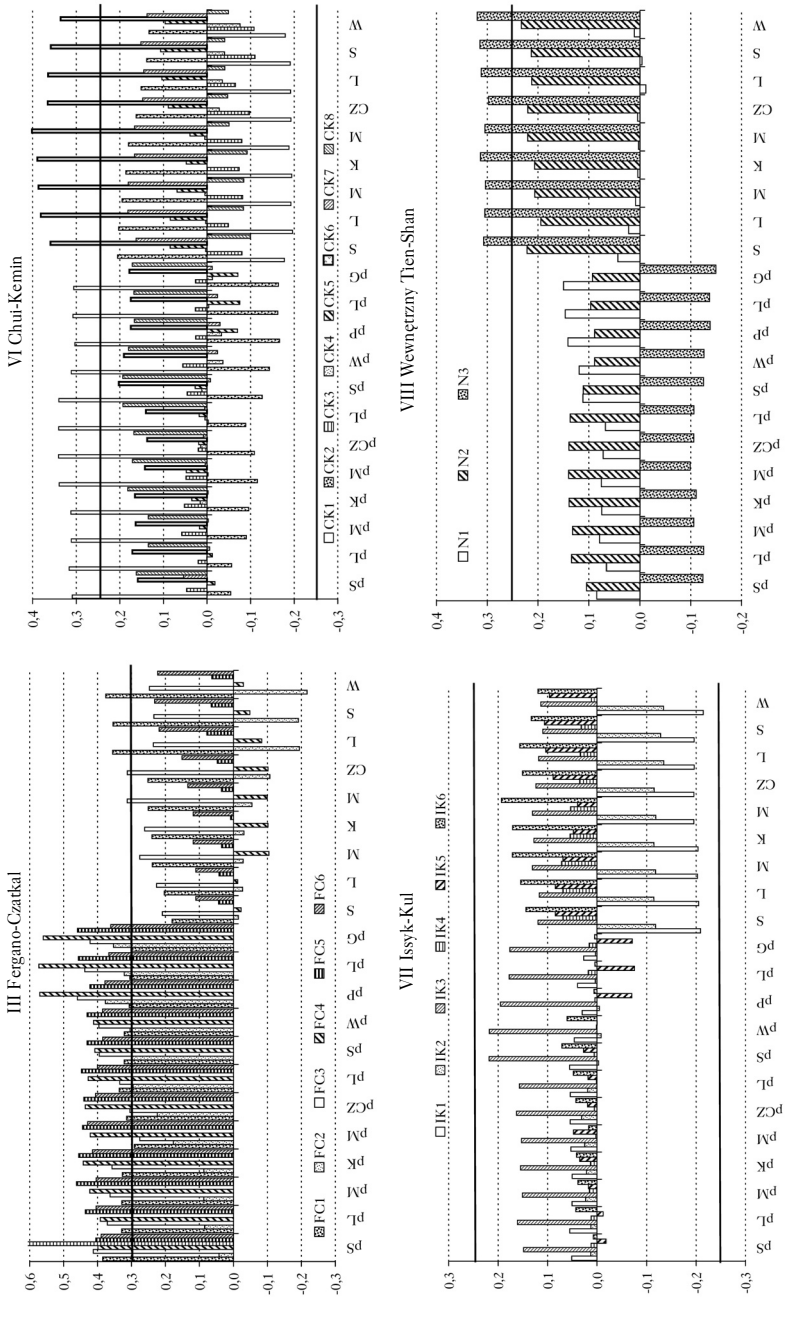
Warunki klimatyczne regionu Fergano-Czatkal charakteryzowały dane ze stacji meteorologicznej Sary-Chelek położonej na wysokości 1100 m n.p.m. Średnie miesięczne wartości temperatury pochodziły z lat 1966-2009, zaś sumy opadów – z lat 1969-2009. Warunki klimatyczne w regionach Chui-Kemin oraz Issyk-Kul zostały opisane na podstawie danych ze stacji meteorologicznej położonej w okolicach Biszkeku (760 m n.p.m.), które obejmowały okres 1936-1991. Dla regionu Wewnętrzny Tien-Shan wykorzystano dane ze stacji meteorologicznej Naryn położonej na wysokości 2041 m n.p.m. Średnie miesięczne wartości opadów i temperatury pochodziły z okresu 1931-1991. Region Fergano-Czatkal cechuje się najłagodniejszym klimatem z badanych terenów. Dość wysokie są tu opady roczne (930 mm). W Biszkeku średnia roczna suma opadów wynosi 413 mm, a w Narynie – ledwie 283 mm.

Wyniki

W regionie Fergano-Czatkal (FC) na większości badanych powierzchni istniała silna korelacja pomiędzy przyrostem radialnym a sumami opadów od stycznia do grudnia w roku poprzedzającym kształtowanie się słoja rocznego (ryc. 2). W regionie Chui-Kemin (CK) zależność ta była istotna tylko na powierzchni znajdującej się najniżej w badanym gradiencie wysokościowym (1900 m n.p.m.). W regionie Issyk-Kul (IK) nie odnotowano istotnej korelacji pomiędzy szerokością słojów rocznych a opadami. W regionie Wewnętrzny Tien-Shan (N) stwierdzono istotną pozytywną zależność korelacyjną między szerokością słojów rocznych a średnimi miesięcznymi sumami opadów atmosferycznych na najwyżej położonej powierzchni N3 (2950 m n.p.m) w okresie od stycznia do września roku kształtowania słoja (ryc. 2).

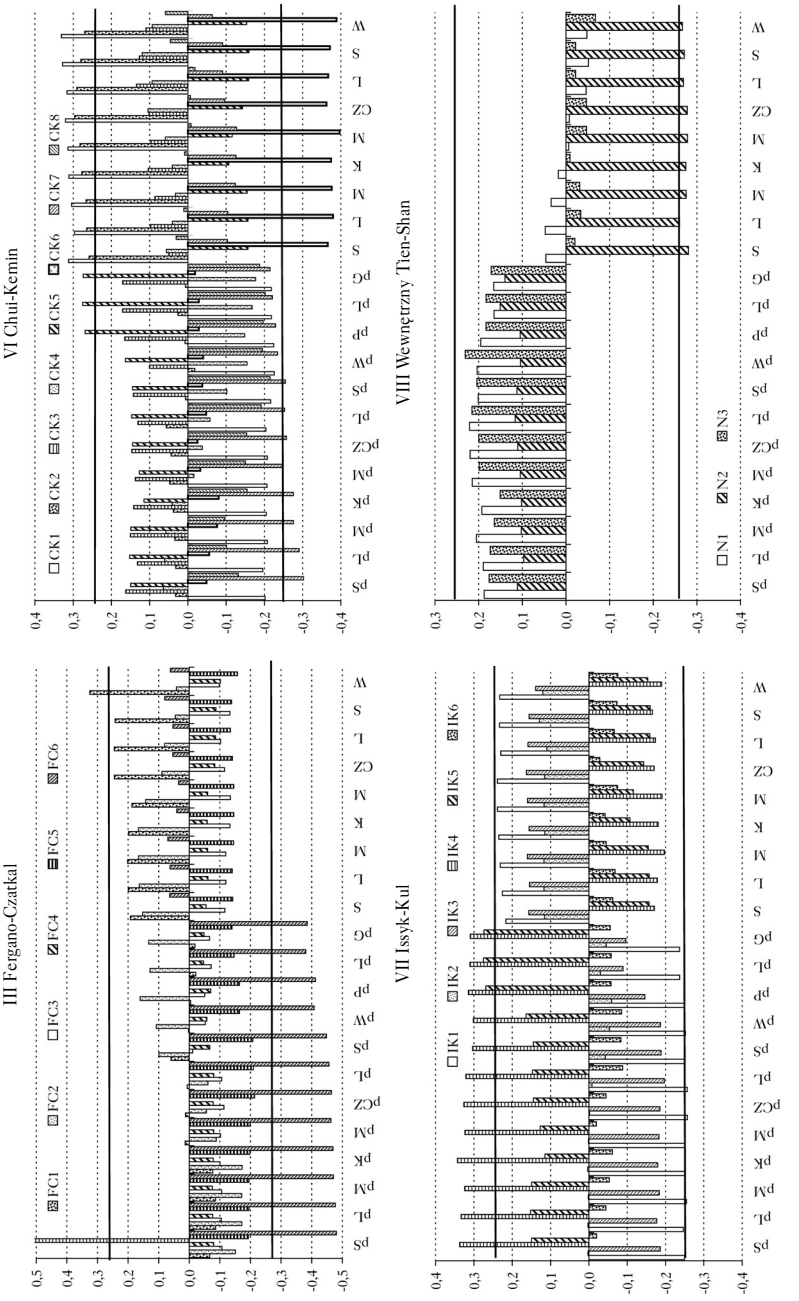
W regionie Fergano-Czatkal na powierzchni FC1 stwierdzono pozytywną korelację między szerokością słojów rocznych a temperaturą we wrześniu w roku tworzenia się słoja rocznego (ryc. 3). Natomiast na powierzchni FC6 występuje negatywna korelacja temperatury z szerokością słoja rocznego w całym roku poprzedzającym tworzenie się słoja rocznego. Pozytywny istotny wpływ temperatury na szerokość słojów rocznych na powierzchniach CK1 oraz CK2 został odnotowany od stycznia do września (ryc. 3). Taką samą relacją, tyle że dla okresu październik-grudzień poprzedniego roku, charakteryzowały się świerki na powierzchni CK5. Negatywny wpływ temperatury na szerokość słojów rocznych odnotowano natomiast na powierzchni CK2 dla okresu styczeń--sierpień w roku poprzedzającym tworzenie się słoja rocznego. W regionie Issyk-Kul negatywna korelacja między szerokością słojów a temperaturą występowała na powierzchni IK1 w okresie styczeń-październik w roku poprzedzającym tworzenie się słoja rocznego. Na powierzchni IK4 stwierdzono pozytywną korelację między szerokością słojów a temperaturą od stycznia do grudnia roku poprzedzającego tworzenie słoja rocznego. Na powierzchni IK5 zaś pozytywna korelacja została znaleziona dla okresu od października do grudnia roku poprzedzającego tworzenie słoja rocznego (ryc. 3). W regionie Wewnętrzny Tien-Shan stwierdzono negatywną korelację między szerokością słojów rocznych a temperaturą od stycznia do września w roku trwania przyrostu drzewa na powierzchni N2.

Stwierdzono wysokie podobieństwo sekwencji przyrostowych między populacjami, które pochodzą z tych samych regionów leśnych i ze zbliżonych wysokości. Największa zgodność występuje pomiędzy chronologiami pochodzącymi z powierzchni IK3 i IK4 (GL = 81%) oraz mię-



Ryc. 2.
Zależność między szerokością słojów rocznych świerka Schrenka a sumami opadów atmosferycznych w badanych regionach leśnych Kirgistanu
Relationship between tree ring width and precipitation in analysed forest regions in Kyrgyzstan
p – rok poprzedzający tworzenie słoja rocznego, czarne linie – krytyczna wartość współczynnika korelacji przy poziomie istotności 0,05
p – year prior to tree ring formation, black lines – critical value of correlation coefficient at p=0.05

dzy powierzchniami CK1 i CK2 (GL = 80%). Nie stwierdzono zgodności między populacjami pochodzącymi z powierzchni znajdujących się w różnych regionach leśnych. Na badanym obszarze stwierdzono dużą liczbę lat wskaźnikowych. Wspólne lata wskaźnikowe dla poszczególnych powierzchni to 1993, 1994 i 2004 (lata pozytywne) oraz 1917, 1995, 1996 i 1998 (lata negatywne).



Ryc. 3.
Zależność między szerokością słojów rocznych świerka Schrenka a temperaturą powietrza w badanych regionach leśnych Kirgistanu
Relationship between tree ring width and temperature in analysed forest regions in Kyrgyzstan
p – rok poprzedzający tworzenie słoja rocznego, czarne linie – krytyczna wartość współczynnika korelacji przy poziomie istotności 0,05
p – year prior to tree ring formation, black lines – critical value of correlation coefficient at p=0.05

Dyskusja

Stwierdzony na powierzchniach położonych na wysokości 1400-2000 m n.p.m. istotny wpływ opadów roku poprzedniego na kształtowanie się szerokości słojów rocznych pokrywa się z wynikami Wanga i in. [2005] oraz Solominy i Maksimowej [2010]. Powyżej tej wysokości wpływ opadów jest nieistotny statystycznie. Wyjątkiem jest powierzchnia N3, gdzie pozytywną zależność

między kształtowaniem się przyrostu rocznego a opadami w roku tworzenia słoja rocznego w ciągu całego roku można tłumaczyć faktem, że w regionie tym niska temperatura i długa mroźna zima powodować mogą niedostateczną ilość wody w glebie. Spowodowane to jest powolnym tajaniem śniegu oraz mniejszymi opadami w trakcie sezonu wegetacyjnego. Według Maksimowej [2011a] pozytywna korelacja z opadami zimowymi związana może być również z tym, że śnieg tworzy pokrywę, która chroni korzenie przed przemarzaniem, co pozytywnie wpływa na przyrost świerka Schrenka. Ogólnie można stwierdzić, że na powierzchniach zlokalizowanych w niższych położeniach (od 1350 do 2000 m n.p.m.) czynnikiem limitującym występowanie drzewostanów są opady, co jest znaną prawidłowością. W badaniach prowadzonych na terenie Tatr Savva i in. [2006] również potwierdzają, że górną granicę występowania świerka w Tatrach ogranicza temperatura, natomiast dolną – ilość opadów. Siła tej zależności wzrasta wraz z obniżeniem wysokości, na której położony jest badany drzewostan. Brakiem jakiejkolwiek zależności między wartościami przyrostu a opadami atmosferycznymi charakteryzował się region Issyk-Kul. Taką sytuację można tłumaczyć zwiększoną ilością wilgoci spowodowaną bliskością jeziora Issyk-Kul, którego powierzchnia wynosi aż 6236 km^2. Jego obecność i wielkość może wpływać na to, że w okresie wegetacyjnym w regionie tym częściej występują opady, zaś znaczna ich ilość oraz optymalna temperatura może stwarzać idealne warunki dla przyrostu występujących tu drzewostanów. Do podobnych wniosków dochodzi w swoich badaniach Borszewa [1986]. Ponadto drzewa znajdujące się w tym regionie osiągały największą pierśnicę (tab.), co może świadczyć o optymalnych warunkach przyrostu dla świerka Schrenka. Solomina i Maksimowa [2010] analizowały wielkość przyrostu z różnych regionów leśnych pod względem klimatologicznym, jednak w wytypowanym zbiorze nie znalazły wspólnej reakcji przyrost–klimat, co tłumaczyć można dużym zróżnicowaniem klimatycznym Kirgistanu spowodowanym występowaniem wysokich gór. Podobne zjawisko zróżnicowanej reakcji drzew na temperaturę i opady stwierdzono również u świerka pospolitego. Feliksik i Wilczyński [2001] stwierdzili, że na przyrost świerków rosnących w Nadleśnictwie Wisła w Beskidzie Śląskim wpływały w istotny sposób zarówno temperatura, jak i opady. O dużym zróżnicowaniu wpływu czynników klimatycznych na przyrost i w zależności od miejscowego położenia poszczególnych powierzchni pisała również Borszewa [1986]. Mimo występujących podobieństw w reakcjach przyrost–klimat we wzrastającym gradiencie wysokościowym występowały powierzchnie, pomiędzy którymi odnotowano odmienne zależności, które wynikać mogą z ekspozycji stoku. Dla powierzchniach znajdujących się w tych samych regionach leśnych, na tych samych wysokościach i na tych samych wystawach (np. powierzchnie IK5 i IK6 – wystawa N oraz CK6 i CK7 – wystawa N) badane chronologie charakteryzują się wysoką zgodnością (wartość wskaźnika GL wynosi odpowiednio 73 i 76%). Natomiast w Regionie VIII, na powierzchniach N2 oraz N3 znajdujących się na wysokości 2950 m n.p.m o odpowiednich wystawach N-W oraz N-E, współczynnik GL wynosił 49%, co wskazuje na brak zgodności charakterystyki przyrostu.

Pozytywne lata wskaźnikowe 1993 i 1994 oraz negatywny rok 1917 tłumaczyć można warunkami klimatycznymi, które występowały w tych latach w Azji Centralnej. Pozostałe lata wskaźnikowe wyjaśnić można nie tylko zróżnicowanymi warunkami przyrostu radialnego w poszczególnych regionach leśnych, lecz również częstymi trzęsieniami ziemi, które występują na terenie Azji Środkowej. Analizując wpływ trzęsień ziemi w latach 1887 oraz 1911 na przyrost radialny świerka Schrenka w górach Tien-Shan na terenie Zailijskiego Ałatau, Yadav i Kulieshius [1992] stwierdzili, że zmiany przyrostu drzew nie są jednokierunkowe. Po trzęsieniu ziemi w roku 1887 drzewa zareagowały negatywnym przyrostem w roku 1888, natomiast po trzęsieniu ziemi w roku 1911 nie było żadnej reakcji badanych drzew ani w roku trzęsienia, ani bezpośrednio po nim, nato-

miast drzewa wykazały zmniejszony przyrost dwa lata przed trzęsieniem ziemi. Zróżnicowany wpływ trzęsień ziemi na przyrost radialny autorzy tłumaczą różnymi czynnikami, z których jednym jest położenie drzewostanów. Odmienną reakcję przyrostu radialnego na różnorodne katastrofy opisują również Kozlowski i in. [1991]. Drzewa zareagowały na powódź zmniejszonym przyrostem dopiero dwa lata po jej wystąpieniu. Autor tłumaczy to różnorodną reakcją fizjologiczną drzew. Trzęsienia ziemi mają zróżnicowany wpływ na przyrost drzew. Wpływać mogą one na destabilizację zjawisk, które mają miejsce w przyroście drzew pod powierzchnią ziemi – zarówno pozytywnie, jak i negatywnie. Jest to zagadnienie trudne i wymagające większej liczby badań, niniejsza praca sygnalizuje jedynie zaistniałą zależność.

Przy prowadzeniu badań dendrochronologicznych czynniki atmosferyczne wpływające na przyrost radialny nie mogą być scharakteryzowane ogólnie, bez bardziej szczegółowego rozpatrywania lokalnych warunków wzrostu drzew. Analizy należy prowadzić oddzielnie w każdym z wyróżnionych regionów klimatycznych. Wilczyński i in. [2001], na podstawie analiz warunków termiczno-pluwialnych mających wpływ na różnicowanie się zmian szerokości słojów rocznych drzew sosny zwyczajnej, wyróżnili na terenie Polski 9 regionów dendroklimatycznych. Regiony te w dużym stopniu pokrywały się z regionami klimatycznymi Polski. Na terenie Kirgistanu można również mówić o regionach dendroklimatycznych, które wyznaczyć można na podstawie zróżnicowanego wpływu warunków pluwialno-termicznych na przyrost radialny świerka Schrenka.

Wnioski

- Świerk Schrenka charakteryzuje się zróżnicowaną reakcją przyrostową na warunki klimatyczne w górach Tien-Shan. Dolną granicę jego występowania limituje ilość opadów, natomiast górną – temperatura.
- Przyrost radialny świerka na tych samych wysokościach n.p.m. w obrębie różnych regionów jest odmiennie kształtowany przez warunki lokalne (wystawa terenu).
- Badane regiony leśne Kirgistanu można traktować jako odrębne regiony dendroklimatyczne i dendrochronologiczne, czego potwierdzeniem są zależności między przyrostem radialnym a czynnikami klimatycznymi oraz zgodność wskaźnika GL między chronologiami w tych samych regionach leśnych.

Podziękowania

Autor chciałby wyrazić wdzięczność prof. dr. hab. Michałowi Zasadzie oraz dr. Orozumbekovowi Almazbekowi Anarbekowiczowi, pod których opieką została zrealizowana jego rozprawa doktorska pt. „Dendroekologiczna charakterystyka świerka Schrenka (*Picea schrenkiana*) w górach Tien-Shan w Kirgistanie" będąca bazą dla niniejszej pracy.

Literatura

Borszewa N. M. 1981a. Wlianie biologiczeskih osobennosti na fornirowanie godicznyh kolcew yeli Szrenka w Kungej-Ałatu. Biologiczeskie isledowania w yelowyh lesah Tien-Shana. Ilim, Frunze. 154-159.

Borszewa N. M. 1981b. Wlianie klimaticzeskix faktorow na radialnyj prirost drewiesiny Yeli Szrenka w Zailijskom Ałatau. Biologiczeskie isledowania w yelowyh lesah Tien-Shana. Ilim, Frunze. 159-167.

Borszewa N. M. 1986. Wlianie biologiczeskih i klimaticzeskik faktorow na radialny prirost yeli Szrenka. Izdatelstwo Nauka Sibirskoe Otdelenie, Nowosibirsk. 71-75.

Cook E. R., Holmes R. L. 1986. User's manual for program ARSTAN. W: Holmes R. L., Adams R. K., Fritts H. C. [red.]. Tree-ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon a northern Great Basin. Chronology VI: 50-56.

Cook E. R., Kairiukstis L. A. 1990. Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Eckstein D., Bauch J. 1969. Ein Beitrag zur Rationaliesierung einenes dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. Forstwiss Centralbl. 88: 230-250.

Feliksik E., Wilczyński S. 2001. Influence of temperature and rainfall on the increment width of native and foreign tree species from the Istebna Forest District. Folia Forestalia Polonica A 43: 103-114.

Fritts H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, London.

Gan P. A. 1970. Lesa SSSR v pyati tomakh. Tom 5: Lesa Kazakhstana, sredneaziatskykh respublik i yugo vostoka evropeyskoy chasti SSR.

Gonzalez I. G. 2001. Weiser: a computer program to identifity event and pointer years in dendrochronological series. Dendrochronologia 19: 239-244.

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. Bishkek.

Holmes R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bull 43: 69-78.

Holmes R. L. 1999. Dendrochronology Program Library (DPL). Users Manual. LTRR University of Arizona, Tuscon.

Huber B. 1970. Dendrochronologie. Handbuch der Mikroskopie in der Technik 5 (1): 171-211.

Kozlowski T. T., Kramer P. J., Pallardy S. G. 1991. The physiological ecology of wood plants. Academic Press, California

Li J., Gou X., Cook E. R., Chen F. 2006. Tree ring based drought reconstruction for the central Tien Shan are in northwest China. Geophysical Research Letters 33.

Magnuszewski M., Bijak S., Orozumbekow A., Howe B., Musuraliev K., Zasada M., Bronisz K., Bronisz A. 2015. Different growth patterns of *Picea schrenkiana* subsp. *tianshanica* (Rupr.) Bykov and *Juglans regia* L. coexisting under the same ecological conditions in the Sary-Chelek Biosphere Reserve in Kirgistan. Dendrobiology 73: 11-20.

Magnuszewski M., Orozumbekov A., Zasada M. 2013. Radial growth and climate signals of *Picea schrenkiana* at different elevations in the Sary-Chelek Biosphere Reserve, Kirgistan. Scientific Technical Reports 13.05. DOI: 10.2312/GFZ.b103-13058.

Maksimowa O. E. 2011a. Dendrochronologiczeskije rekonstrukcji klimaticzeskih i gidroliczeskih parametrow na Tien-Szanie (Kirgizja) za poslednije stuletia. Awtoreferat dysertacji na soiskanie yczenoj stepieni kandydata geograficzeskih nauk, Moskwa.

Maksimowa O. E. 2011b. Drewiesno-kolcewaja hronologia yeli Szrenka za pośledne sem stoletej dla rajona lednika Enylczek na Tian-Szanie. Rosijskaja Akademija Nauk. Led i Sneg 1 (113).

Savva Y., Oleksyn J., Reich P. B., Tjoelker M. G., Vaaganow 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.

Schweingruber F. H. 1996. Tree rings and environment. Dendroecology. Paul Haupt, Bern.

Schweingruber F. H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Braker O. U. 1990a. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. Dendrochronologia 8: 9-38.

Schweingruber F. H., Kairiukstis L. A., Shiyatov S. 1990b. Sample selection. W: Cook E. R., Kairiukstis L. A. [red.]. Methods of Dendrochronology. Application in the Environmental Sciences. Sci. 4: 1145-1160.

Solomina O. N., Maksimowa O. E. 2010. Dendrohronologiczeskije isledowania na Tien-Shanie kak istocznik klimaticzeskoj informacji. Izwiestija AN SSSR, Seria geograficzeskaja 6: 58-69.

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., Krąpiec M., Szychowska-Krąpiec E., Zielski A. 2001. Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. Sylwan 145 (8): 53-61.

Yadav R. R., Kulieshius P. 1992. Dating of earthquakes: tree rings responses to the catastrophic earthquake of 1887 in Alma-Ata, Kazahstan. The Geographical Journal 3: 295-299.

Zielski A., Krąpiec M. 2004. Dendrochronologia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.