MONOGRAPHIAE BOTANICAE
Vol. L, 1975

EWA BYLIŃSKA

ZWIĄZEK ZIMOWEJ TRANSPIRACJI WYBRANYCH GATUNKÓW Z RODZAJÓW *POPULUS*, *VIBURNUM* i *LONICERA* Z PÓŁNOCNĄ GRANICĄ ICH ZASIĘGU

The relationship of winter transpiration of selected species from the genera *Viburnum*, *Populus* and *Lonicera* to the northern boundary of their geographical distribution

Redaktor: *A. Kostyniuk*

WARSZAWA

Wydano z pomocą finansową
Polskiej Akademii Nauk

KOMITET REDAKCYJNY

M. Kostyniuk (Warszawa), Z. Podbielkowski (Warszawa)
A. Gajewska (Warszawa)

Adres Redakcji: Al. Ujazdowskie 4, 00-478 Warszawa

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — WARSZAWA 1975

Wydanie I. Nakład 330+90 egz. Ark. wyd. 5. Ark. druk. 3.75+2 wklejki. Papier druk. sat. III kl. 80 g. 70×100 cm. Oddano do składu w lutym 1975 r. Podpisano do druku w grudniu 1975 r. Druk ukończono w grudniu 1975 r. B-43. Zam. 1258. Cena zł 20.—

LUBELSKIE ZAKŁADY GRAFICZNE IM. PKWN W LUBLINIE

SPIS TREŚCI

1. Wstęp 5
2. Dotychczasowe badania 6
3. Metodyka badań 11
   A. Wybór gatunków 11
   B. Pomiar zimowej transpiracji pędów 12
   C. Studia klimatologiczne 15
4. Geograficzno-ekologiczna charakterystyka zbadanych gatunków . . . 19
5. Omówienie wyników 20
   A. Zimowa zdolność transpiracji 20
   B. Północna granica zasięgu zbadanych gatunków na tle warunków klimatycznych 31
   C. Zdolność susząca powietrza na północnej granicy zasięgu zbadanych gatunków z rodzaju *Populus* 41
6. Dyskusja 46
7. Wnioski 51
Summary 53
Literatura 57

1. WSTĘP

W dotychczasowej literaturze ekologicznej zagadnienie zależności północnej granicy zasięgu roślin drzewiastych od ich zimowej transpiracji nie jest dostatecznie opracowane. Choć nie ulega wątpliwości, że warunki klimatyczne z jednej, a specyficzne cechy roślin z drugiej strony kształtują granicę ich zasięgu, to jednak w odniesieniu do północnej granicy zasięgu brak dotychczas badań analizujących współdziałanie elementów klimatycznych z właściwościami gatunkowymi roślin. Według Iwanowa (1924) wielkość zimowej transpiracji jest właśnie jedną z cech gatunkowych roślin z grupy tropofitów, wyrażającą ich przystosowanie do warunków klimatycznych, między innymi i do warunków dalekiej północy. Zgodnie z hipotezą tego autora, południowe gatunki roślin drzewiastych odznaczają się intensywniejszą transpiracją zimową od gatunków północnych, także w obrębie jednego rodzaju. Wyjątek w tej regule stanowią według niego rodzaje *Populus, Lonicera* i *Viburnum*, u których autorowi hipotezy nie udało się wykryć zależności pomiędzy północną granicą zasięgu a intensywnością transpiracji zimowej poszczególnych gatunków w obrębie rodzaju. Słuszności poglądu Iwanowa dotychczas nie sprawdzono, aczkolwiek już Czarnowski (1951) zwrócił uwagę na metodyczne braki jego pracy w pomiarach zimowej transpiracji drzew i krzewów.

Podjęcie badań przez autorkę niniejszej pracy miało na celu sprawdzenie słuszności hipotezy Iwanowa o zależności północnej granicy zasięgu roślin drzewiastych od ich zdolności zimowej transpiracji odnośnie do rodzajów *Populus, Lonicera* i *Viburnum*. Zbadanie jej u tych rodzajów uzupełni lukę w poznaniu ich ekologii. Znajomość ekologii roślin w okresie spoczynku ma dziś duże znaczenie dla prognostyki aklimatyzacyjnej.

W niniejszej pracy zbadano transpirację zimową dostępnych w naszym kraju drzew i krzewów z rodzajów *Populus, Lonicera* i *Viburnum* oraz zanalizowano warunki klimatyczne, które wywierają istotny wpływ na utratę wody przez pędy drzew i krzewów w okresie spoczynku zimowego roślin na terytorium Europy i Azji. Wymagało to przeprowadzenia

specjalnych studiów klimatologicznych. Znajomość zimowej transpiracji badanych gatunków i kształtowania się poszczególnych elementów klimatycznych na północnej granicy ich zasięgu pozwoliła rozważyć, czy istnieje ewentualna zależność pomiędzy wartością zimowej transpiracji tych gatunków a wartościami poszczególnych elementów klimatycznych okresu zimowego na północnej granicy ich zasięgu. Ponadto podjęto próbę ilościowego wyrażenia działania kompleksu elementów klimatycznych na kształtowanie się północnej granicy zasięgu roślin drzewiastych.

Badania terenowe przeprowadzono w okresie zimy 1969 i 1970. Pracę wykonano w Zakładzie Ekologii i Ochrony Przyrody Uniwersytetu Wrocławskiego im. B. Bieruta we Wrocławiu.

W tym miejscu pragnę podziękować Doc. dr. hab. Maciejowi S. Czarnowskiemu za pomoc i wskazówki, z których korzystałam w toku pracy. Winna jestem również słowa podziękowania Prof. dr. S. Białobokowi z Zakładu Dendrologii PAN w Kórniku, Doc. dr. S. Hejmanowskiemu z Instytutu Badawczego Leśnictwa w Warszawie, Doc. dr L. Karpowiczowej z Ogrodu Botanicznego w Warszawie oraz Doc. dr. J. Tumiłowiczowi z Arboretum SGGW w Rogowie za umożliwienie mi przeprowadzenia badań doświadczalnych na miejscu.

2. DOTYCHCZASOWE BADANIA

Zagadnienie zimowej transpiracji drzew

Oczywistym jest fakt, że wszystkie rośliny drzewiaste, niezależnie od przynależności ich do typu ekologicznego według spektrum Raunkiaera (1908), wykazują w okresie zimy utratę wody, co za Iwanowem (1924) nazywamy transpiracją zimową. Dotychczasowe badania tego zjawiska są skromne, jeśli porównamy je z bogatą literaturą dotyczącą transpiracji roślin w okresie wegetacji, która w zestawieniu Burgersteina (1904, 1920, 1925) do roku 1925 zawiera ponad 3000 pozycji. Pierwsze prace o zimowej transpiracji drzew zawdzięczamy Hartigowi, Wiesnerowi, Pacherowi i Kusano (cyt. wg Iwanowa 1924), którzy stwierdzili transpirację drzew w okresie łagodnych zim w Europie i w Japonii.

W świetle definicji podanej przez Szymkiewicza (1932), transpiracja jest zjawiskiem fizycznym, uwarunkowanym jednak fizjologicznym stanem rośliny. Według tego autora, transpiracją roślin rządzą te same prawa co zwykłym parowaniem, wyraża więc ją wzorem

$$E = k(p' - p)\frac{273 + t}{273}\,\frac{760}{P - p'}, \qquad (1)$$

gdzie:

p' — prężność nasyconej pary wodnej dla temperatury powierzchni parującego ciała, w mm Hg,

P — rzeczywista prężność pary wodnej, w mm Hg,

t — temperatura rośliny, w °C,

k — współczynnik zależny od specyficznych właściwości rośliny, rozmiarów liści i ich ustawienia, stanu fizjologicznego rośliny oraz szybkości wiatru,

P — ciśnienie barometryczne, w mm Hg.

Wzór ten dotyczy transpiracji nabłonkowej, również i transpiracji zimowej roślin drzewiastych zrzucających liście, a więc transpiracji biernej, która odbywa się jak zwykłe parowanie z ciała nasiąkniętego wodą. W nowszych badaniach, współczynnik k określany jest jako funkcja czynników pozameteorologicznych, np. takich jak wilgotność gleby (Budyko i wsp. 1952), a także meteorologicznych, jak np. turbulencja powietrza (Penman 1963). W warunkach naturalnych wyrażenia $\frac{273 + t}{273}$ oraz $\frac{760}{P - p'}$ niewiele różnią się od 1, wzór (1) upraszcza się więc

$$E = k(p' - p), \tag{2}$$

wielkość $(p' - p)$ nosi w nim nazwę niedosytu wilgotności powietrza.

Omówienie badań nad zimową transpiracją drzew wymaga przedstawienia kilku następnych formuł, a mianowicie wzoru podawanego np. przez Awerkiewa (1951), wyrażającego pionowy przepływ pary wodnej E′ od wilgotnego podłoża

$$E' = -A \frac{\partial p}{\partial F}, \tag{3}$$

gdzie:

A — współczynnik wymiany na wysokości F od powierzchni parującej,

p — prężność pary wodnej na wysokości F,

$\frac{\partial p}{\partial F}$ — gradient prężności pary wodnej.

W studiach ekologicznych zmienność wielkości A można traktować liniowo. Gdy zmienne przeniesiemy na dwie strony równania i scałkujemy, to otrzymamy

$$E' \int_{o}^{F} dF = -A \int_{p'}^{p} \partial p, \tag{4}$$

wtedy

$$E' = \frac{A}{F}(p' - p), \tag{5}$$

Czarnowski (1964) stosował równanie to w ekologii roślin w postaci

$$E = C_e K_e (p' - p), \tag{6}$$

gdzie:

C_e — współczynnik proporcjonalności zależny od właściwości roślin (może być nazwany „współczynnikiem wydajności transpiracyjnej rośliny"),

K_e — współczynnik zależny od warunków środowiska (temperatura, prędkość wiatru, promieniowanie itd., a więc zależy od A).

Wydajność transpiracyjna rośliny zależy od struktury rośliny (budowy anatomicznej, barwy itd.), jak również i od takich czynników, jak zawartość soli mineralnych w glebie czy zaopatrzenie w wodę. Należy podkreślić, że wzór (6) obowiązuje tylko wówczas, gdy A traktuje się jako średnią wartość reprezentatywną dla znacznego obszaru. Konsekwentnie więc, gdy wzoru używa się w pewnym określonym punkcie, należy użyć dostatecznie długiego okresu obserwacji. W warunkach naturalnych wartość współczynnika A jest funkcją prędkości wiatru jak również i innych parametrów atmosfery. Funkcję tę wyraża wzór Fransilli (Czudnowskij 1948)

$$A = a_1 \frac{\partial t}{\partial F} + b_e v^{\gamma} \tag{7}$$

Współczynniki a_1, b_e, a także γ są do wyliczenia z materiału doświadczalnego; są one funkcją szorstkości powierzchni substratu parującego. Wielkość $\frac{\partial t}{\partial F}$ jest gradientem temperatury, v zaś prędkością wiatru.

Ze stanowiska interesującej nas kwestii transpirowania nieulistnionych pędów zimą, należy zwrócić uwagę na następujące okoliczności. Wpływ wiatru na transpirację liści polega na usuwaniu z ich powierzchni warstewki wytranspirowanej pary wodnej, a także na wyciskaniu pary wodnej przez szparki z wnętrza liścia (Strebejko 1956, 1966). Według Craftsa i wsp. (1949) całkowita powierzchnia przestworów międzykomórkowych wewnątrz liścia jest kilkanaście razy większa od powierzchni zewnętrznej liścia. Dlatego w przypadku transpiracji liści rola wiatru zaznaczyć się powinna silniej niż w przypadku parowania pędów w zimie. Z drugiej jednak strony w lecie zapas wody w liściu w miarę wytranspirowania jest stale uzupełniany wodą pobieraną przez korzenie. Natomiast w przypadku transpiracji zimowej pędów, na skutek panowania temperatury poniżej punktu zamarzania wody, a tym samym ograniczenia krążenia wody w roślinie, pędy są poważnie narażone na wysuszanie, a więc i na obumieranie, jeśli prędkość wiatru jest dostatecznie duża.

Dokładniejsze studia nad transpiracją zimową drzew i krzewów prowadził w latach 1919-1924 Iwanow (1924). Autor ten zbadał ilościowo transpirację zimową u 60 gatunków roślin posługując się metodą oznaczania intensywności wysychania odciętych, bezlistnych pędów, przy czym ubytek wagi przeliczał na jednostkę powierzchni.

Najniższy stopień utraty wody stwierdził Iwanow u modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) i wartość tę przyjął za jednostkę porównawczą, nazwaną jednostką modrzewiową. Zatem badacz ten określał zimową zdolność transpiracyjną jako stosunek ubytku wody pędów danego gatunku do ubytku wody z pędów modrzewia. W konsekwencji stwierdził, że zimowa zdolność transpiracyjna jest cechą gatunkową. Iwanow mianem transpiracji nazwał utratę wody z odciętych, a więc

schnących pędów, co mogłoby budzić zastrzeżenia, jeśli zważy się, iż transpiracja jako proces fizjologiczny rośliny zależy od jej stanu fizjologicznego, co ujmują podane wzory [(1), (2), (6)], a więc przykładowo od uwilgocenia rośliny czy też od parcia korzeniowego. Zrozumiałym jest, że odcięcie pędu powoduje zakłócenie fizjologicznego stanu rośliny. Jednak w przypadku transpiracji zimowej drzew liściastych mamy do czynienia z transpiracją nabłonkową, bierną, która głównie uwarunkowana jest budową morfologiczną pędu i czynnikami zewnętrznymi. W świetle wspomnianej już formuły transpiracji Szymkiewicza [wzór (1)], określenie ubytku wody przez pędy zimą jako transpiracji jest do przyjęcia.

Porównując transpirację zimową długopędów i krótkopędów Iwanow stwierdził silniejszą transpirację długopędów, co tłumaczy większą liczbą pączków i śladów liściowych przypadającą na jednostkę powierzchni i krótkopędów. Nie omawia jednak transpiracji samych pączków i śladów liściowych. Ponadto Iwanow stwierdził, że pędy jednoroczne transpirują silniej niż dwuletnie i tłumaczy to różnicą budowy anatomicznej. Według tego autora, wilgotność tkanki nie wpływa na intensywność zimowej transpiracji, bowiem pędy modrzewia, jesionu, derenia, buka i orzecha — przy niemal jednakowej zawartości w nich wody — wykazują duże różnice w intensywności transpiracji.

Na podstawie wielu studiów Iwanow wysunął hipotezę o zależności północnej granicy zasięgu drzew od zdolności ich transpiracji zimowej. Wykazał bowiem, że w obrębie rodzaju gatunki południowe transpirują zimą silniej niż północne. Wyjątek stanowią rodzaje: *Populus*, *Lonicera* i *Viburnum*, u których autorowi hipotezy nie udało się stwierdzić tej zależności. Sugeruje jednak, że przyczyną niepotwierdzenia tej zależności u wymienionych rodzajów mógł być materiał źle dobrany pod względem genetycznym lub też błędne określenie zasięgu badanych gatunków należących do tych rodzajów. Ponadto Iwanow stwierdził silniejszą transpirację zimową drzew pochodzących z południa, bez względu na ich rodzaj. Drzewa iglaste, zdaniem Iwanowa, pomimo mniejszej zdolności transpiracyjnej, wyparowują w zimie stosunkowo więcej wody od drzew liściastych wskutek zachowania igieł. Transpiracją zimową można więc tłumaczyć fakt, że często nie drzewa zimozielone, lecz zrzucające liście na zimę, jak np. brzoza lub modrzew, tworzą północną granicę drzew. Rozprzestrzenianie się gatunków na północ jest ograniczone, między innymi, przez uszkodzenia mrozowe spowodowane utratą wody przez pędy w zimie.

Prace Gordiagina (1929) potwierdziły słuszność hipotezy Iwanowa, a przy tym dostarczyły ilościowych danych o transpiracji zimowej drzew z terenu wschodniej Rosji.

Czarnowski (1951) badając transpirację zimową 6 gatunków topoli, w pomiarze jej uwzględnił grubość pędów, która — jak się okaza-

ło — istotnie wpływa na wyniki doświadczenia. Pędy cienkie w przeliczeniu na jednostkę powierzchni transpirują słabiej niż grube.

W późniejszych latach uczeni radzieccy podejmowali szereg badań nad zimową transpiracją wielu północnych gatunków roślin drzewiastych, zmierzając do opracowania ich fizjologiczno-ekologicznej charakterystyki (Daniłow 1948, Obrazcowa 1956, Popławska 1948, Girnik 1955 i Olikier 1965). Były to badania podstawowe dla późniejszych zabiegów aklimatyzacyjnych. Na przydatność znajomości zimowej transpiracji drzew i krzewów dla celów aklimatyzacji zwracał uwagę Czarnowski (1951). W agro-ekologicznych rozważaniach zimowej transpiracji należy jednak pamiętać o uwadze Iwanowa, iż gatunki hodowlane, całkowicie już zaaklimatyzowane, przypuszczalnie musiały zmodyfikować swą pierwotną zdolność transpiracji zimowej.

Na uwagę zasługują badania Olikiera (1965) nad wilgotnością i transpiracją jednorocznych pędów drzew i krzewów w okresie jesienno-zimowo-wiosennym, które wykazały, że w pierwszym okresie zimy, dłuższym i charakteryzującym się niższą temperaturą, utrata wody przez pędy jest mniejsza niż w okresie drugim, krótszym i cieplejszym. Wilgotność pędów w zimie utrzymuje się na dość wysokim poziomie dzięki uzupełnianiu strat wodnych w czasie dziennego ocieplenia wodą z gleby lub z niższych partii rośliny, co zapobiega usychaniu pędów. Uszkodzenia mrozowe, obserwowane wczesną wiosną, zdaniem tego autora, są następstwem obniżenia się mrozoodporności pędów podczas dziennych ocieplań. Uważa więc, że przeszkodę w przesunięciu się południowych gatunków na północ stanowi nie zimowa transpiracja, jak uważali Iwanow (1924) i Gordiagin (1925) w latach dwudziestych, lecz obniżona mrozoodporność wiosną. Na podstawie późniejszych prac Iwanow (1946) doszedł do podobnych wniosków. Jednakże wnioski te nie podważają tezy o zależności północnej granicy zasięgu gatunku od jego zimowej zdolności transpiracyjnej.

Dotychczasowe rozważania, jak i aktualne poglądy, zwłaszcza klimatologiczne, na uwarunkowanie północnej granicy zasięgu roślin drzewiastych pozwalają dokładniej wniknąć w zagadnienie zależności północnej granicy zasięgu od zimowej zdolności transpiracyjnej roślin, takie bowiem czynniki jak temperatura, wilgotność powietrza i wiatr bezpośrednio wpływają na przebieg tej transpiracji. Liczne rozważania analogii między przebiegiem północnej granicy zasięgu różnych gatunków roślin a liniami klimatycznymi (izotermami, izochimenami, izochronami), które w uproszczony, tabelaryczny sposób przedstawia Szafer (1964), nie tłumaczą jednakże dostatecznie samej istoty północnej granicy zasięgu roślin, jak i nie wskazują na jej rzeczywisty przebieg, zgodnie bowiem ze zdaniem Paczoskiego (1933) rzeczywista granica zasięgu nie może być funkcją samego klimatu; jest ona również funkcją czynników biocenotycznych (m. in. konkurencji innych gatunków). Innymi słowy, gra-

nica zasięgu realizuje się tam, gdzie stosunek potencjału biotycznego rośliny do oporu środowiska znajduje się w równowadze. Należy tu jednak podkreślić, że granica takiego ekwilibrium, granica rzeczywistego zasięgu naturalnego, mimo słusznych uwag Paczoskiego, jest między innymi i funkcją klimatu, tak jak i granica potencjalnego areału, którego w naturze roślina nie osiąga.

Przy rozpatrywaniu zasięgów roślin, za podstawę przyjmujemy dane makroklimatyczne, gdy zasięgi traktujemy w skali kontynentalnej a nie regionalnej. Istotne znaczenie dla roślin na granicy ich północnego zasięgu mają temperatury minimalne, ograniczają bowiem procesy życiowe i niszczą tkanki (uszkodzenia mrozowe), co ma różnorodną, ale nie sprzeczną interpretację fizjologiczną. Doświadczenia przeprowadzone przez Szymkiewicza (1937) na Grenlandii wykazały, że rośliny drzewiaste północy są przystosowane do pobierania wody w niskich temperaturach. Jednocześnie niski wskaźnik parowania (zależny od temperatury, wilgotności powietrza i ciśnienia barometrycznego) warunkuje niedużą utratę wody przez te rośliny. Odznaczają się one małym bilansem wodnym (Szafer 1964), a zgodnie z Walterem (1927) właśnie bilans wodny, a nie zawartość wody w środowisku, decyduje o ich egzystencji na północy. Szkodliwe działanie niskich temperatur potęguje wiatr, toteż występowanie drzew w pn.-wsch. części Syberii, gdzie mrozy dochodzą do −67°C, a brak ich na dużo cieplejszych wybrzeżach Norwegii, tłumaczy Szymkiewicz (1932 a, b) małą prędkością wiatru na Syberii (1 m/sek) i dużą (6 m/sek) na wybrzeżach Norwegii. Wyrazem kompleksowego działania wiatru i mrozu są przystosowawcze formy roślin dalekiej północy, których ekologię rozważali między innymi Szymkiewicz 1932 a, b, Walter 1927 i Sokołowski (1928). Według Kihlmana (cyt. wg Szymkiewicza 1932) wiatry o szybkości ponad 6 m/sek wyznaczają polarną granicę drzew. Wrażliwość poszczególnych gatunków drzew na działanie mroźnych wiatrów jest według Iwanowa (1925) tym większa, im więcej tracą one wody przez parowanie, czyli im większa jest ich zdolność transpiracji zimowej. Brak drzew zimozielonych w północno-wschodniej Syberii, gdzie występuje jedynie limba (*Pinus cembra*), a nawet tak wytrzymały gatunek jak *Picea obovata* omija tereny bieguna zimna, cofając się z 70° na 60° szer. geogr. pn. — tłumaczy się również transpiracją zimową tych gatunków.

3. METODYKA BADAŃ

A. Wybór gatunków

W celu przeprowadzenia doświadczeń wybrano te gatunki z rodzajów *Populus*, *Lonicera* i *Viburnum* spośród rosnących w Polsce, które spełniały następujące wymagania:

1) wykazywały wyraźne zróżnicowanie przebiegu północnej granicy zasięgu w obrębie każdego z wymienionych rodzajów,

2) były gatunkami endemicznymi dla Europy, Azji lub Eurazji,

3) były właściwymi gatunkami, a nie mieszańcami

4) w dotychczasowej literaturze miały już graficznie opracowane zasięgi w skali kontynentu. Ten ostatni warunek spełniały tylko gatunki z rodzaju *Populus* i *Lonicera*.

Przedmiotem badań były następujące gatunki:

1. *Populus tremula* L. — Rogów (pow. Koluszki), Kórnik (pow. Śrem)
2. *Populus alba* L. — Rogów
3. *Populus koreana* Rehd. — Kórnik, Sękocin k. Warszawy
4. *Populus maximowiczii* Henry — Kórnik, Sękocin
5. *Populus suaveolens* Fisch. — Sękocin
6. *Populus laurifolia* Ledeb. — Sękocin
7. *Populus nigra* L. — Sękocin
8. *Lonicera caerulea* L. — Warszawa
9. *Lonicera xylosteum* L. — Warszawa, Rogów
10. *Lonicera tatarica* L. — Warszawa, Wrocław
11. *Lonicera periclymenum* L. — Warszawa, Rogów
12. *Lonicera caprifolium* L. — Warszawa, Kórnik
13. *Lonicera maackii* Maxim. — Wrocław, Kórnik
14. *Viburnum opulus* L. — Kórnik, Rogów,Warszawa, Wrocław
15. *Viburnum lantana* L. — Kórnik, Rogów, Warszawa
16. *Viburnum tomentosum* Thunb. — Kórnik
17. *Viburnum rhytidophyllum* Hemsl. — Rogów
18. *Viburnum sieboldii* Miq. — Wrocław

Materiał pochodził z 5 różnych miejscowości podanych przy poszczególnych gatunkach, bowiem w żadnym z arboretów nie można było zdobyć jednocześnie pędów ze wszystkich potrzebnych gatunków, tym bardziej, że materiał ten musiał spełniać określone doświadczeniem warunki. Rośliny powinny mieć zbliżony wiek i rosnąć w podobnych siedliskach.

B. Pomiar zimowej transpiracji pędów

Pomiarów zimowej transpiracji pędów wybranych gatunków topoli, kaliny i wiciokrzewu dokonano metodą Iwanowa (1924), którą w niniejszej pracy zmodyfikowano. Iwanow odcinał jednoroczne długopędy w okresie zimy (luty — marzec), przenosił je do pomieszczenia o temp. +3°C do +6°C, powierzchnie ścięcia pokrywał woskiem, a następnie pędy te ważył. Po upływie 1-2 dni ważył je powtórnie. Iwanow, przyjmując cylindryczny kształt pędów, straty wody przeliczał na jednostkę powierzchni. Badając stratę wody u jakiegokolwiek gatunku, każdorazowo, analogicznie oznaczał ubytek wody w pędach *Larix*

decidua Mill. Wyniki straty wody u badanego gatunku odnosił do analogicznych wyników otrzymanych jednocześnie dla modrzewia, określał więc transpirację względną.

Biorąc pod uwagę stwierdzenie Czarnowskiego (1951), że w pomiarach zimowej transpiracji należy uwzględnić grubość pędów, która istotnie wpływa na wyniki doświadczenia, w niniejszej pracy koniecznym było dokładne zbadanie tej zależności u gatunków reprezentujących trzy badane rodzaje i u modrzewia europejskiego, będącego gatunkiem modelowym metody Iwanowa. W tym celu przeprowadzono wstępne badania transpiracji zimowej u *Larix decidua* Mill., *Lonicera tatarica* L., *Viburnum opulus* L. i *Populus nigra* L., rosnących w Ogrodzie Botanicznym we Wrocławiu (doświadczenie 1969). Z wyników tego doświadczenia (tab. 1, ryc. 1) wyciągnięto dalsze wnioski metodyczne, a mianowicie: skoro istnieje ścisła zależność między grubością pędów a ich transpiracją zimową, nie można porównywać wyników transpiracji pędów różnych gatunków bez uwzględnienia w pomiarach grubości pędów, jak to uczynił Iwanow. Jednak niemożliwością był dobór jednorocznych pędów różnych gatunków o tej samej grubości. Dlatego też w dalszych pomiarach zrezygnowano z określania względnej transpiracji zimowej, a w konsekwencji analizę porównawczą transpiracji badanych gatunków przeprowadzono na podstawie wartości bezwzględnych zimowej transpiracji, uzyskanych *in caeteris paribus* dla poszczególnych gatunków.

Pomiar transpiracji przeprowadzono następująco: z jednorocznych długopędów odcinano zrzezy długości 10-20 cm, ich powierzchnie cięcia pokrywano szybko schnącym lakierem i po zważeniu zawieszano je, powiązane razem w sznurowe drabinki, w miejscu chłodnym i przewiewnym, osłoniętym od bezpośredniego wpływu opadów atmosferycznych, słońca i wiatru *. W celu wyeliminowania ewentualnych różnic w transpiracji, wynikających z budowy morfologicznej (części wierzchołkowej i nasadowej długopędów), zrzezy pobierano z odpowiadających sobie miejsc. Zrzezy każdego z badanych gatunków dobierano w serie według 5-7 klas grubości, a każdą taką serię reprezentowało 10 zrzezów. Po upływie 4 dni zrzezy powtórnie zważono. Używano wagi technicznej o nośności 0,5 kg i czułości 10 mg, co daje dokładność pomiaru ±4%. Dla każdej serii zrzezów obliczono średnią grubość pędu i średnią wartość straty wody (transpiracji). Wyniki opracowano statystycznie. Na podstawie otrzymanych wyników wykreślono krzywe, których przebieg ilustruje zależność zimowej transpiracji pędów poszczególnych gatunków od ich grubości.

Ubytek wody w pędach można podać w przeliczeniu na jednostkę powierzchni lub na jednostkę masy. Gdy zważy się fakt, że żaden z pędów badanych gatunków nie ma idealnie cylindrycznego kształtu, ani

---

* Doświadczenie przeprowadzono w temp. ok. 0°C.

idealnie równej, gładkiej powierzchni, zwłaszcza że występują na niej liścioślady i pączki, można przypuszczać, że z natury rzeczy pomiar powierzchni pędu jest mniej dokładny niż pomiar masy. Dlatego też we wstępnym doświadczeniu z 1969 r. należało zbadać dokładność wyników pomiaru transpiracji w przeliczeniu na jednostkę powierzchni na jednostkę masy, co zrobiono na przykładzie zimowej transpiracji pędów *Populus nigra* L. w Ogrodzie Botanicznym we Wrocławiu. Wyniki tego doświadczenia podano w tabeli 2. Zdolność do strat wody pędów *P. nigra* L. w przeliczeniu na jednostkę powierzchni oraz na jednostkę masy, w obu wypadkach jako funkcję grubości pędów, przedstawiono na wykresie 2. Zdolność do strat wody pędów w przeliczeniu na jednostkę powierzchni (y) na podstawie tego doświadczenia daje się wyrazić wzorem

$$y = a + cd, \tag{8}$$

gdzie:

d — średnica pędu w cm,

a, c — stałe (zależne od gatunku, warunków otoczenia i czasu trwania doświadczenia),

$$y = \frac{E}{\pi dl},$$

gdzie z kolei:

E — straty wody,

π — ludolfina,

l — długość pędu.

W niniejszym przypadku, po przeliczeniu metodą najmniejszych kwadratów:

$$y = 0{,}034 + 0{,}022d. \tag{8a}$$

Wzór ten w naszym przypadku daje dokładność średnią $\pm 7{,}65\%$. Natomiast zdolność do strat wody pędów, w przeliczeniu na jednostkę masy (Y) na podstawie tego samego doświadczenia daje się wyrazić wzorem

$$Y = A + \frac{C}{d}, \tag{9}$$

gdzie:

A, C — stałe (zależne od gatunku, warunków otoczenia, czasu trwania doświadczenia),

$$Y = \frac{E}{\frac{\pi}{4} d^2 lg}$$

gdzie z kolei: g — ciężar właściwy pędu.

W omawianym wypadku, po przeliczeniu metodą najmniejszych kwadratów, uzyskano zależność

$$Y = 0{,}1066 + \frac{0{,}15}{d}. \tag{9a}$$

Wzór ten daje średni błąd $\pm 2{,}1\%$.

Nietrudno zauważyć, że oba wzory zawierają jednakową treść, bowiem

$$\frac{E}{d} \sim a + cd, \tag{10}$$

$$\frac{E}{d^2} \sim A + \frac{C}{d}, \tag{11}$$

z czego wynika, że jeśli obie strony wzoru (11) pomnożymy przez d, otrzymamy:

$$\frac{E}{d} \sim Ad + C. \tag{12}$$

Uchwycona zależność (9) pozwala nam na zmniejszenie liczby pomiarów, tzn. na ograniczenie klas grubości pędów do trzech i interpretowania wyników przy pomocy tego równania.

Zasadniczą część badań zimowej zdolności do strat wodnych jednorocznych pędów wybranych gatunków przeprowadzono w okresie I-III 1970 r. (doświadczenia 1970 r.). W doświadczeniach tych przyjęto tylko trzy klasy grubości pędów dla każdego z badanych gatunków i dla nich dokonano pomiaru utraty wody. Zrozumiałe jest, że dla każdego gatunku klasy grubości były inne, uwarunkowane swoistymi cechami danego gatunku. Doświadczenia powtórzono trzykrotnie w okresie zimy. Na podstawie wyników pomiarów utraty wody obliczono średnie dla każdego gatunku (tab. 3, 4, 5). Ponieważ badania przeprowadzono w kilku miejscowościach, różniących się warunkami i czasem trwania doświadczenia, uzyskane wyniki porównywalne są tylko w obrębie jednej miejscowości. Na podstawie uzyskanych wyników wykreślono krzywe, których parametry równania (9) obliczono metodą najmniejszych kwadratów na elektronicznej maszynie cyfrowej, a które ilustrują zależność utraty wody poszczególnych gatunków od grubości pędu w danych miejscowościach (na ryc. 3, wykresy 3-13). Krzywe te umożliwiają porównanie wartości utraty wody przez pędy poszczególnych gatunków przy dowolnej ich grubości (w granicach doświadczenia).

C. Studia klimatologiczne

Rozważania ekologiczne nad północną granicą zasięgu gatunków z rodzajów *Populus, Lonicera* i *Viburnum* wymagały sporządzenia oryginalnych map, przedstawiających warunki klimatyczne okresu spoczynku zimowego roślin na obszarze Eurazji, a mianowicie: długości okresu zimowego, średnich temperatur, wilgotności względnej powietrza i prędkości wiatru tego okresu, dotychczas nie opracowanych. Elementy te wywierają wszak istotny wpływ na zimową transpirację drzew.

Studia klimatologiczne przeprowadzono dla Europy i Azji, bowiem przez obszar ten przebiegają granice zasięgów badanych gatunków drzew i krzewów. Dane meteorologiczne opracowano dla dziesięciolecia 1951-1960. Dla okresu dłuższego, jaki przyjmuje się w pracach klimatologicz-

nych, nie można było uzyskać jednolitych danych, niezbędnych do opracowania dostatecznej liczby punktów, bowiem jedne miejscowości posiadają długoletnie obserwacje, inne — dopiero z lat ostatnich, względnie z dużymi przerwami.

W pracy stosowano makroskalę, pomijając wszelkie odchylenia mikroklimatu, gdyż nie decydują one w sposób zasadniczy o przebiegu granic zasięgów roślin w skali kontynentu. Nie brano również pod uwagę danych klimatycznych ze stacji meteorologicznych leżących w górach; pionowe zmiany klimatyczne stanowią bowiem odrębne zagadnienie, a ponadto badane gatunki roślin występują głównie na obszarach nizinnych. Kryterium do wyłączenia z niniejszych rozważań terenów górskich stanowiło określenie ich przez Waltera (1964) jako terenów o klimacie górskim, oraz położenie ich powyżej 1000 m n.p.m. Wszystkie wartości obliczono na poziomie rzeczywistym (nie sprowadzając ich do poziomu morza). Wyeliminowanie terenów górskich z konieczności prowadziło do pewnych uproszczeń w konstrukcji map, a mianowicie do wyznaczenia przypuszczalnego przebiegu linii w niektórych punktach. Materiały meteorologiczne były bowiem stosunkowo skąpe, a ich opracowanie oparto na danych z 290 stacji. Z terenu Azji do dyspozycji były jedynie średnie wieloletnie danych meteorologicznych. Zestawienie tych danych ze średnimi dla okresu dziesięciolecia z pewnością nie jest najwłaściwsze, lecz stanowi jedyne wyjście z sytuacji, o tyle dopuszczalne, że, jak stwierdzono w wielu przypadkach, wartości średnie wybranego okresu dziesięciolecia nie wykazują znaczniejszych odchyleń od średnich wieloletnich, a więc przy przyjętej makroskali nie wpływają istotnie na obraz map. Przez morza przeprowadzono linie przerywane, co podkreśla ich teoretyczny charakter, bowiem nie brano pod uwagę danych oceanograficznych. Średnie miesięczne wartości rozważanych elementów klimatycznych dla poszczególnych punktów Europy opracowano na podstawie Roczników Meteorologicznych, a dla punktów Azji na podstawie danych: Alisow (1950), Alisow i wsp. (1954), Czelpanowa (1963); poz. bibl. 29, Klukin (1960), Sklarow (1968), Szczerbakowa (1961), Witwicki (1960). Otrzymane wyniki nanoszono na mapy konturowe, a następnie metodą interpolacji wykreślano izolinie poszczególnych elementów klimatycznych.

Okres zimowego spoczynku roślin wyznaczono powszechnie stosowaną metodą graficzną, podaną przez Molgę (1967). Uzyskane średnie wartości miesięczne temperatury powietrza naniesiono na wykres współrzędnych prostokątnych, na którym odcięta przedstawia skalę czasu, a rzędna wartości temperatury w °C. Połączenie otrzymanych punktów dało krzywą obrazującą przebieg średniej temperatury miesięcy w ciągu roku. Przejście krzywej przez próg +3°C odcięło okres czasu zawarty pomiędzy jesiennym a wiosennym przejściem temperatury przez ten próg, dzieląc rok na okres o średniej miesięcznej temperaturze powyżej

+3° i poniżej tej temperatury. Okres zawarty poniżej średniej dobowej temperatury powietrza +3°C przyjęto za Lundergardem (cyt. wg Szymkiewicza 1932a) jako okres spoczynku zimowego drzew. Przyjęcie progu +3°C znajduje ponadto i inne uzasadnienie. Mianowicie, większość gleb rozmarza u powierzchni wówczas, gdy średnia dobowa temperatura powietrza, określona według zasad obowiązujących w sieci stacji meteorologicznych, utrzymuje się powyżej +2°C (Kajetanowicz 1964). Przyjęcie progu +3°C niewiele odbiega od wartości +2°C i jest jakby powiększone „współczynnikiem bezpieczeństwa". Dalsze badania klimatologiczne przeprowadzono tylko dla tego okresu. Na podstawie wykresów obliczono czas trwania spoczynku zimowego roślin dla każdej stacji meteorologicznej. Po przeniesieniu tych wartości na mapę, stosując interpolację, wykreślono przebieg linii obrazujących długość okresu spoczynku zimowego roślin na terytorium Europy i Azji, stosując skok 25-dniowy.

Średnią temperaturę okresu spoczynku zimowego roślin obliczono jak następuje: sumę temperatur okresu zimowego dzielono przez ogólną liczbę dni tego okresu. Wartości uzyskane dla każdej stacji naniesiono na mapę i drogą interpolacji wyznaczono przebieg izolinii o skoku 1°C (mapa 2).

Charakterystykę wilgotności powietrza oparto na wartościach wilgotności względnej wyrażonej w procentach. Obliczenia i wykreślenie mapy było analogiczne jak w przypadku temperatury. Otrzymana mapa obrazuje rozkład wilgotności w Europie i Azji w okresie spoczynku zimowego roślin przy stosowaniu skoku co 10% względnej wilgotności powietrza w przebiegu izolinii (mapa 3).

Prędkość wiatru przedstawiono w m/sek, stosując w razie potrzeby przeliczenia z innych skal. Średnie wartości obliczono jak wyżej, a po przeniesieniu ich na mapę i zastosowaniu interpolacji wyodrębniono obszary różniące się średnią prędkością wiatru w okresie, który przyjęto nazywać zimą. Zastosowano skalę czterostopniową o prędkościach wiatru 0-2; 2,1-4; 4,1-6; 6,1-8 m/sek. Taka dokładność skali pozwalała przedstawić obraz prędkości wiatru w sposób ogólny, natomiast stosowanie drobniejszego skoku uwidoczniało wiele małych terytoriów o wartościach pośrednich, których wykreślenie było niemożliwe przy tej gęstości punktów (mapa 4).

Aczkolwiek wyniki przeprowadzonych w niniejszej pracy doświadczeń wykazały, iż zimowa zdolność utraty wody przez pędy badanych gatunków z rodzajów *Populus, Viburnum* i *Lonicera* warunkuje przebieg ich północnej granicy zasięgu, interesującym było zbadać ponadto, czy sama zdolność susząca powietrza, od której wszak zależna jest transpiracja zimowa drzew, nie zakreśla tej granicy. Dzięki sporządzonym mapom klimatycznym (mapa 1, 2, 3, 4) można było określić wartość zdol-

ności suszącej powietrza w zimie w punktach, przez które przebiegają granice północnego zasięgu poszczególnych gatunków. Zakładano, że gdyby wartości te dla każdego z badanych gatunków były jednakowe (a przynajmniej na tyle bliskie, że różnice dałyby się wytłumaczyć niedokładnościami linii zasięgu lub map klimatycznych), to rzeczywiście susząca zdolność powietrza mogłaby być uznana za czynnik ograniczający zasięg gatunku.

Za miarę suszącej zdolności powietrza przyjęto iloczyn niedosytu wilgotności powietrza i długości okresu zimy (1). Niedosyt wilgotności powietrza obliczono, jak następuje.

Wychodząc z definicji:

$$(p' - p)$$

— niedosyt wilgotności powietrza,

gdzie:

p' — prężność nasyconej pary wodnej przy temperaturze t, w mm Hg,
p — prężność rzeczywista pary wodnej, w mm Hg,
z drugiej:

$$c = \frac{p}{p'} 100 \tag{13}$$

— wilgotność względna powietrza, w procentach,
otrzymano

$$p = \frac{cp'}{100}, \tag{14}$$

przeto

$$(p' - p) = p' - \frac{cp'}{100}, \tag{15}$$

a więc

$$(p' - p) = p'\left(1 - \frac{c}{100}\right), \tag{16}$$

gdzie: p' oraz c są średnimi wartościami okresu zimowego.

Zdolność suszącą powietrza okresu zimowego określono wzorem

$$\left[p'\left(1 - \frac{c}{100}\right)\right] l, \tag{17}$$

gdzie: l — długość okresu spoczynku zimowego ograniczonego progiem $+3°C$ wyrażona w dniach.

Obliczenia zdolności suszącej powietrza wykonano przykładowo w losowo wybranych punktach północnej granicy zasięgu wszystkich badanych gatunków topoli (tab. 9 i 10).

4. GEOGRAFICZNO-EKOLOGICZNA CHARAKTERYSTYKA ZBADANYCH GATUNKÓW

Krótką charakterystykę geograficzno-ekologiczną zbadanych gatunków przedstawiono tabelarycznie na podstawie dzieł Kocha (1872), Schneidera (1906), Rehdera (1954), Sokołowa (1951, 1962), Browicza (1952), Białoboka i Hellwiga (1955), Hegiego (1957, 1962), Krüssmana (1960), Meusela (1965) i Bugały (1967) (tab. 6, 7, 8). W tabelach tych podano rozmieszczenie i siedlisko gatunków, ich północną i górną granicę zasięgu, a ponadto cechy istotne przy pomiarach zimowej transpiracji, a mianowicie: maksymalną wysokość roślin, charakterystykę morfologiczną pędów i mrozoodporność.

W niniejszej pracy 7 gatunków topoli (tab. 6) reprezentuje dwie grupy zróżnicowania terytorialnego: grupę eurazjatycką (*Populus tremula* L., *P. alba* L., *P. nigra* L.) i grupę azjatycką (*Populus suaveolens* Fisch., *P. laurifolia* Ledeb., *P. maximowiczii* Henry i *P. koreana* Rehd.). Obszary występowania poszczególnych topoli przedstawiono na mapie 5, sporządzonej na podstawie zasięgów podanych przez Hegiego i Sokołowa, z zachowaniem rygorów skali.

Spośród 6 zbadanych gatunków *Lonicera* 4 należą do podrodzaju *Chamaecerasus* L. (suchodrzew) i 2 do podrodzaju *Periclymenum* L. (wiciokrzew). Z podrodzaju *Chamaecerasus*, gatunek *Lonicera caerulea* L. należy do sekcji *Isika DC*, a pozostałe 3 gatunki (*L. tatarica* L., *L. xylosteum* L. i *L. maackii* Maxim.) do sekcji *Coeloxylosteum* Rehd. Te dwie sekcje mają wyraźne różnice w przebiegu północnej granicy zasięgu i prawie identyczną granicę południową. Gatunki należące nawet do jednej sekcji wykazują duże, istotne różnice ekologiczne (tab. 7). Badane gatunki z podrodzaju *Periclymenum* L., a więc *Lonicera caprifolium* L. i *L. periclymenum* L., wykazują bardziej południowe rozmieszczenie niż gatunki z podrodzaju *Chamaecerasus* L. Obszar występowania wymienionych sekcji i niektórych gatunków *Lonicera* przedstawiono na mapie 6, na podstawie zasięgów opracowanych przez Hegiego i Sokołowa. Opracowanie tej mapy wymagało również korektury skali.

Spośród 5 gatunków kaliny, będących przedmiotem niniejszych badań, 2 gatunki wchodzą w skład flory Polski (Szafer 1967), mianowicie: *Viburnum opulus* L. i *V. lantana* L., pozostałe 3 są natomiast gatunkami azjatyckimi, są to: *V. tomentosum* Thunb., *V. rhytidophyllum* Hensl. i *V. sieboldii* Miq. Te trzy gatunki azjatyckie różnią się od obu gatunków rodzimych w Polsce warunkami siedliskowymi i właściwościami ekologicznymi (tab. 8). Dla zbadanych gatunków kaliny nie sporządzono mapy terenów ich występowania w Europie i Azji, brak bowiem dotychczas w literaturze graficznie przedstawionych danych o przebiegu zasięgów tych gatunków w skali całego kontynentu. Znane są jedynie dane lokalne, między innymi ze Skandynawii i Danii (Hultén 1950) oraz z An-

glii (Perring 1962), na podstawie których wnioskowano o przebiegu północnej granicy zasięgu *V. opulus* i *V. lantana* w Europie.

5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

A. Zimowa zdolność transpiracji

Wstępne badania zimowej transpiracji jednorocznych pędów *Larix decidua* Mill., *Lonicera tatarica* L., *Viburnum opulus* L. i *Populus nigra* L. (doświadczenie 1969) wykazały, iż u tych gatunków roślin istnieje ścisła zależność pomiędzy grubością pędów a utratą przez nie wody w okresie spoczynku zimowego (tab. 1). Mianowicie u *Larix decidua* Mill.

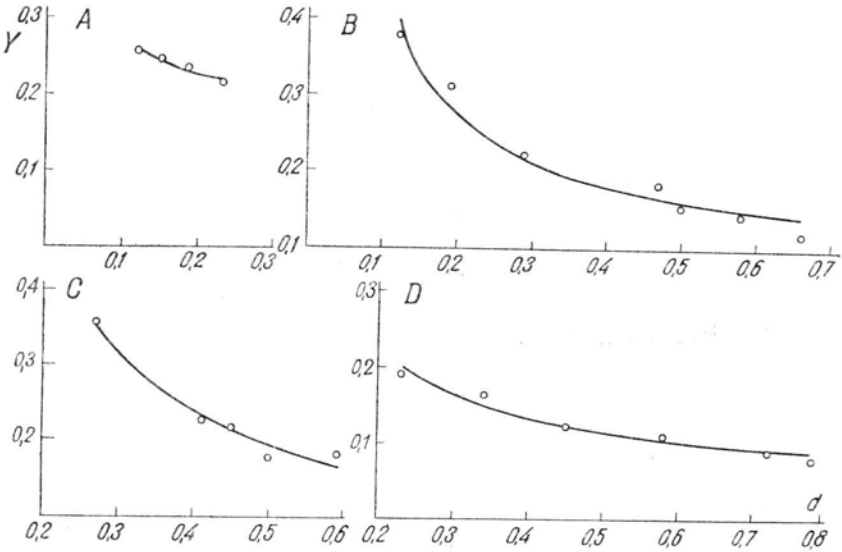
Tabela 1

Zależność strat wody jednorocznych pędów od ich grubości w okresie zimowego spoczynku

Dependence of water loss of one-year-old shoots on their thickness during winter rest

Gatunek	Nr	Średnia grubość pędu d (cm)	Straty wody doświadczalne Y (g/g)	Straty wody obliczone Y (g/g)	Procent błędu	Parametry równania (9)	
						A	C
Larix decidua Mill.	1	0,120	0,259	0,262	1,21	0,18214	0,009
	2	0,150	0,249	0,246	1,15		
	3	0,183	0,240	0,235	2,25		
	4	0,203	0,229	0,229	0,19		
	5	0,231	0,219	0,224	2,14		
Lonicera tatarica L.	1	0,120	0,378	0,398	5,29	0,08552	0,0375
	2	0,190	0,314	0,283	9,91		
	3	0,290	0,221	0,215	2,80		
	4	0,470	0,184	0,165	10,16		
	5	0,500	0,155	0,160	3,56		
	6	0,580	0,145	0,150	3,57		
	7	0,660	0,117	0,142	21,65		
Viburnum opulus L.	1	0,270	0,357	0,352	1,32	0,012545	0,09173
	2	0,410	0,229	0,236	3,18		
	3	0,450	0,218	0,216	0,74		
	4	0,500	0,180	0,196	8,89		
	5	0,590	0,185	0,168	9,18		
Populus nigra L.	1	0,230	0,192	0,201	4,50	0,042204	0,03644
	2	0,340	0,164	0,149	8,91		
	3	0,450	0,123	0,123	0,15		
	4	0,580	0,111	0,105	5,37		
	5	0,720	0,091	0,093	2,00		
	6	0,780	0,079	0,089	12,56		

zwiększeniu się grubości pędów o 0,111 cm odpowiada zmniejszenie się utraty wody o 0,040 g/1 g pędu, a u *Lonicera tatarica* L. zwiększeniu grubości pędów o 0,540 cm odpowiada zmniejszenie się wartości utraty wody o 0,261 g/1 g pędu. U *Viburnum opulus L.* odpowiednie wartości przedstawiają się następująco: zwiększenie grubości pędu o 0,320 cm pociąga za sobą zmniejszenie transpiracji o 0,172 g/1 g pędu, a u *Populus nigra* L. zwiększeniu grubości pędów o 0,550 cm towarzyszy zmniejszenie transpiracji o 0,113 g/1 g pędu. Zależności te przedstawione są na wykresie (ryc. 1). Przebieg krzywych obrazujących zależność utraty wo-



Ryc. 1. Zależność strat wody pędów od ich grubości

d — średnia grubość pędów (w cm); Y — średnie straty wody liczone w gramach na masę pędu; o — wartości doświadczalne

Fig. 1. Dependence of water loss in shoots on their thickness

d — average thickness of shoots (in cm); Y — average water loss calculated per shoot mass (in g); o — experimental values

A — *Larix decidua* Mill.; B — *Lonicera tatarica* L.; C — *Viburnum opulus* L.; D — *Populus nigra* L.

dy od grubości pędów u 4 badanych gatunków, przedstawiony na tym wykresie, znajduje wyraz we wzorze (9), dla $d>0$. Ponadto z wykresu tego można odczytać, że zmienność grubości pędów badanych gatunków jest różna, w przypadku pędów *Larix decidua* Mill. mała, duża natomiast u pędów *Lonicera tatarica* L.

Wyniki tego doświadczenia uzyskano z pomiarów utraty wody przez pędy w różnych terminach, dlatego też na podstawie wykresu (ryc. 1) nie można porównywać bezwzględnych wartości transpiracji zimowej u poszczególnych gatunków.

Jak przedstawiono w metodycznej części pracy, zdolność do strat wodnych jednorocznych pędów *Populus nigra* L. w okresie zimowego spoczynku, w przeliczeniu na jednostkę powierzchni oraz na jednostkę masy, w obu przypadkach jest funkcją grubości pędów (tab. 2). Funkcje te

Tabela 2

Straty wody jednorocznych pędów *Populus nigra* L.

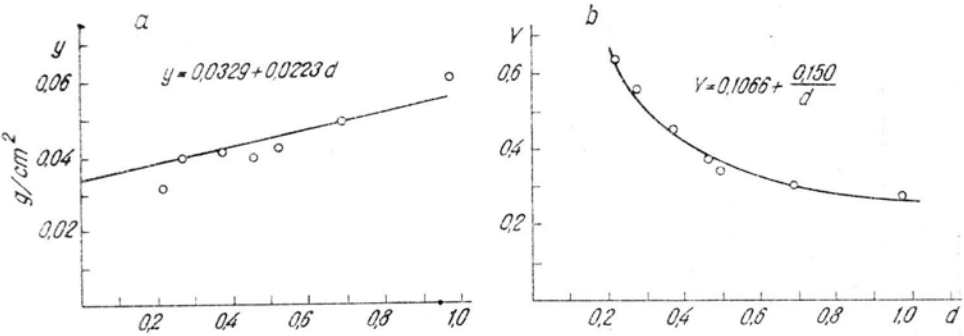
Loss of water of one-year-old shoots of *Populus nigra* L.

Nr	Grubość pędów (cm)	Straty wody przeliczone na powierzchnię pędów y (cm²)		Straty wody przeliczone na masę pędów Y (g/g)		Procent błędu	
		wartości doświadczalne	wartości obliczone	wartości doświadczalne	wartości obliczone	y	Y
1	0,213	0,0310	0,0380	0,6390	0,6505	22,58	1,78
2	0,269	0,0393	0,0392	0,5630	0,5463	0,75	2,97
3	0,369	0,0411	0,0410	0,4489	0,4389	0,24	2,25
4	0,457	0,0389	0,0429	0,3762	0,3833	10,54	1,94
5	0,507	0,0406	0,0440	0,3471	0,3603	8,37	3,84
6	0,693	0,0487	0,0481	0,3058	0,3039	1,43	0,68
7	0,971	0,0598	0,0543	0,2930	0,2899	9,67	1,18
					średnio:	7,65	2,09

ilustruje wykres 2 a, b (ryc. 2), z którego wyraźnie widać, że w przypadku przeliczenia ubytku wody na 1 cm² powierzchni pędu zależność utraty wody od grubości pędu jest proporcjonalna, czyli większą transpirację na jednostkę powierzchni wykazują pędy grubsze, natomiast w przypadku przeliczania ubytku wody na gram masy pędu zależność ta jest odwrotnie proporcjonalna, mianowicie cieńsze pędy wykazują intensywniejszą transpirację zimową. Nie podważa to jednak twierdzenia o ścisłej zależności wartości transpiracji zimowej pędów od ich grubości, a co z tego wynika, o konieczności uwzględnienia tego parametru w pomiarach transpiracji zimowej pędów.

Wyniki doświadczenia 1970 r. nie tylko potwierdziły istnienie zależności intensywności transpiracji zimowej pędów od ich grubości u wszystkich pozostałych gatunków nie objętych badaniami w doświadczeniu 1969 r., ale wykazały również, iż zależność ta kształtuje się różnie u różnych gatunków. Graficzne przedstawienie tych wyników pozwala porównać wzajemnie poszczególne badane gatunki pod względem ich zdolności do utraty wody zimą przy zachowaniu kryterium tej samej grubości pędów. Teoretyczne wartości zimowej transpiracji gatunków z rodzajów

Populus, *Viburnum* i *Lonicera*, wybranych do niniejszych badań, obliczone maszyną elektronową wykazują średnio 3,5% odchylenia od wartości empirycznych uzyskanych w doświadczeniu 1970 r. Dla poszczególnych serii tego doświadczenia różnica między wartością teoretyczną a empiryczną waha się w granicach od ±0,05% do ±15,0%. Uwzględniając te



Ryc. 2. Zależność strat wody od grubości pędu u *Populus nigra* L.

a — w przeliczeniu na powierzchnię; b — w przeliczeniu na masę pędu
y — średnia wartość utraty wody w g/cm² powierzchni pędu; Y — średnia wartość utraty wody w g/masę pędu; d — średnia grubość pędu (w cm)

Fig. 2. The dependence of water loss on shoot thickness in *Populus nigra* L.

a — calculated for the surface; b — calculated for shoot mass
y — mean value of water loss in g/cm² shoot area; Y — mean value of water loss in g/shoot mass; d — average shoot thickness (in cm)

odchylenia, krzywe przebiegu zimowej transpiracji pędów u poszczególnych gatunków w obrębie rodzaju, zestawione oddzielnie dla każdej miejscowości, w której przeprowadzono niniejsze doświadczenia, dają obraz różnic wartości utraty wody przez pędy zimą, istniejących pomiędzy poszczególnymi gatunkami.

Przebieg krzywych tych wykresów, a mianowicie oddalenie od osi odciętych, ilustruje wartość zimowej zdolności transpiracyjnej badanych gatunków — im oddalenie jest większe, tym zdolność ta jest większa. Odzwierciedlają to również parametry równania (9), a więc wartości A oraz C (tab. 3, 4, 5), z tym, że muszą być rozważane łącznie, a nie każdy z osobna. I właśnie wykresy przedstawiają łączne działanie obu tych parametrów na przebieg krzywych w układzie współrzędnych.

Parametry A oraz C, traktowane łącznie, zawierają więc element zarytmetyzowanych (skwantyfikowanych) kompleksowych przyrodzonych cech poszczególnych gatunków pod względem ich budowy anatomicznej w okresie spoczynku zimowego, a więc: faktury powierzchni pędów, liczebności i wielkości pączków, liściosladów i przetchlinek, występowania warstwy korka, ciężaru właściwego itd.

Z kolei nasuwa się pytanie, czy wartość zimowej zdolności transpiracyjnej określana w przeliczeniu na masę pędów nie wynika po prostu z ich ciężaru właściwego. Wykorzystując dane zebrane przez Bärnera (1942) możemy zorientować się, że w obrębie rodzaju *Populus* ciężar

Tabela 3

Zimowe straty wody jednorocznych pędów rodzaju *Populus* sp:sp
Winter water loss of one-year-old shoots of the genus *Populus*

Miejscowość	Gatunek	Średnia grubość pędu d (cm)	Straty wody doświadczalne Y (g/g)	Straty wody obliczone Y (g/g)	Procent błędu	Parametry równania (9)	
						A	C
Rogów	*Populus tremula* L.	0,199	0,164	0,159	2,87	0,037571	0,02422
		0,224	0,139	0,145	4,83		
		0,317	0,116	0,114	1,74		
	Populus alba L.	0,174	0,208	0,207	0,62	0,11773	0,01548
		0,244	0,178	0,181	1,79		
		0,334	0,166	0,164	1,15		
Kórnik	*Populus tremula* L.	0,146	0,111	0,112	0,72	0,0647	0,00688
		0,300	0,093	0,087	6,12		
		0,360	0,079	0,084	6,07		
	Populus koreana Rehd.	0,300	0,128	0,128	0,00	0,031581	0,04802
		0,358	0,104	0,102	1,40		
		0,395	0,089	0,090	1,10		
	Populus maximowiczii Henry	0,356	0,139	0,134	3,71	0,028194	0,06769
		0,446	0,090	0,101	12,38		
		0,570	0,079	0,073	7,58		
Sękocin	*Populus suaveolens* Fisch.	0,369	0,280	0,281	0,41	0,19563	0,03156
		0,600	0,252	0,248	1,50		
		0,831	0,231	0,233	1,13		
	Populus laurifolia Ledeb.	0,299	0,302	0,302	0,00	0,21833	0,02503
		0,603	0,260	0,260	0,00		
		0,740	0,252	0,252	0,00		
	Populus nigra L.	0,320	0,310	0,311	0,32	0,240	0,226
		0,566	0,286	0,280	2,08		
		0,719	0,267	0,271	1,50		
	Populus koreana Rehd.	0,364	0,312	0,315	0,98	0,22344	0,03334
		0,666	0,288	0,276	5,03		
		0,855	0,251	0,262	4,56		
	Populus maximowiczii Henry	0,263	0,416	0,416	0,00	0,27693	0,03647
		0,653	0,330	0,333	0,85		
		0,855	0,322	0,320	0,75		

Tabela 4

Zimowe straty wody jednorocznych pędów rodzaju *Lonicera* sp:sp

Winter water loss of one-year-old shoots of the genus *Lonicera*

Miejscowość	Gatunek	Średnia grubość pędu d (cm)	Straty wody doświadczalne Y (g/g)	Straty wody obliczone Y (g/g)	Procent błędu	Parametry równania (9)	
						A	C
Warszawa	*Lonicera caerulea* L.	0,162	0,085	0,085	0,00	0,045206	0,006536
		0,248	0,075	0,072	4,59		
		0,276	0,066	0,069	4,37		
	Lonicera xylosteum L.	0,146	0,157	0,161	2,83	0,042004	0,01744
		0,249	0,129	0,112	13,15		
		0,332	0,082	0,094	15,28		
	Lonicera tatarica L.	0,147	0,161	0,165	2,32	0,068788	0,01410
		0,280	0,137	0,119	13,02		
		0,368	0,093	0,107	15,17		
	Lonicera periclymenum L.	0,220	0,160	0,161	0,90	0,065897	0,02102
		0,280	0,145	0,141	2,78		
		0,330	0,127	0,129	2,04		
	Lonicera caprifolium L.	0,161	0,222	0,216	2,69	0,10280	0,01823
		0,196	0,186	0,196	5,27		
		0,297	0,168	0,164	2,28		
Rogów	*Lonicera xylosteum* L.	0,191	0,166	0,169	1,65	0,044676	0,02370
		0,298	0,135	0,124	8,01		
		0,368	0,101	0,109	7,99		
	Lonicera periclymenum L.	0,171	0,213	0,216	1,74	0,093195	0,02112
		0,261	0,185	0,174	5,89		
		0,358	0,145	0,152	4,96		
Wrocław	*Lonicera tatarica* L.	0,161	0,327	0,331	1,36	0,18754	0,02317
		0,275	0,291	0,272	6,60		
		0,350	0,239	0,254	6,17		
	Lonicera maackii Maxim.	0,178	0,370	0,373	0,87	0,26787	0,01875
		0,255	0,350	0,341	2,46		
		0,344	0,317	0,322	1,70		
Kórnik	*Lonicera maackii* Maxim.	0,211	0,139	0,139	0,00	0,064476	0,01582
		0,312	0,118	0,115	2,38		
		0,345	0,108	0,110	2,17		
	Lonicera caprifolium L.	0,135	0,214	0,214	0,13	0,14679	0,009110
		0,220	0,190	0,188	0,95		
		0,248	0,182	0,183	0,84		

Tabela 5

Zimowe straty wody jednorocznych pędów rodzaju *Viburnum*

Winter water loss of one-year-old shoots of the genus *Viburnum*

Miejscowość	Gatunek	Średnia grubość pędu d (cm)	Straty wody doświadczalne Y (g/g)	Straty wody obliczone Y (g/g)	Procent błędu	Parametry równania (9)	
						A	C
Kórnik	*Viburnum opulus* L.	0,349	0,168	0,168	0,00	0,024129	0,05013
		0,448	0,135	0,136	0,76		
		0,491	0,127	0,126	0,61		
	Viburnum lantana L.	0,480	0,123	0,123	0,00	0,14127	0,1267
		0,569	0,080	0,081	1,24		
		0,600	0,071	0,070	1,42		
	Viburnum tomentosum Thunb.	0,287	0,222	0,224	0,92	0,16287	0,01755
		0,390	0,212	0,208	1,94		
		0,601	0,190	0,192	1,10		
Rogów	*Viburnum opulus* L.	0,307	0,156	0,155	0,43	0,003033	0,04862
		0,390	0,120	0,122	1,36		
		0,481	0,099	0,098	0,97		
	Viburnum lantana L.	0,377	0,154	0,156	1,47	0,083727	0,09049
		0,483	0,112	0,104	7,50		
		0,539	0,078	0,084	7,87		
	Viburnum rhytidophyllum Hemsl.	0,450	0,196	0,198	1,00	0,25688	0,2047
		0,553	0,121	0,113	6,42		
		0,599	0,079	0,085	7,36		
Warszawa	*Viburnum opulus* L.	0,179	0,110	0,110	0,00	0,020552	0,01616
		0,314	0,076	0,072	5,26		
		0,388	0,059	0,062	5,41		
	Viburnum lantana L.	0,348	0,089	0,088	0,09	0,029705	0,04128
		0,425	0,067	0,067	0,00		
		0,447	0,063	0,063	0,00		
Wrocław	*Viburnum opulus* L.	0,316	0,362	0,365	0,83	0,25942	0,03336
		0,388	0,353	0,345	2,15		
		0,456	0,328	0,332	1,40		
	Viburnum sieboldii Miq.	0,277	0,380	0,378	0,52	0,32825	0,01378
		0,319	0,368	0,371	0,94		
		0,402	0,364	0,362	0,40		

Tabela 6

Krótka charakterystyka ekologiczna badanych gatunków z rodzaju *Populus*

Short ecological characterization of investigated species from the genus *Populus*

Rodzina Rodzaj Sekcja	Gatunek	Rozmieszczenie	Siedlisko	Granica północna i górna	Osiągana wysokość rośliny	Opis pędów	Mrozoodporność
Salicaceae *Populus* s.: *Aigeiros* Duby	*P. nigra* L. topola czarna nadwiślańska sokora jabrzędź	Europa zach., śr., pd. po Kaukaz i Armenię, poza Krymem, Skandynawią, Szkocją, Irlandią. Szczególnie w dolinach Donu, Renu, Menu, Łaby, Saali, Odry, Wisły. Azja centr. pd.-zach. i pn., na wschodzie do Jeniseju i Dsungarei, pd. Himalaje. Afryka pn. (mapa 5, poz. 2)	Aluwia nadrzeczne. Pojedynczo lub w małych grupkach nad brzegami jezior i rzek, w lasach łęgowych	Granica północna trudna do ustalenia z powodu wyniszczenia lasów łęgowych, w których występowała. Europa zach. i śr. do 57° szer. płn. Europa wsch. i Azja do 62° szer. pn. W górach nie występuje	Do 30 m	Pędy obłe, cylindryczne, gładkie, żółtawo-szare, z pączkami liściowymi ostro zakończonymi, przylegającymi lub lekko odgiętymi	Mrozoodporność duża
s.: *Tacamahaca*	*P. laurifolia* Ledeb.	Azja: Syberia zach. i wsch. do Angary, zach. Kazachstan z przedgórzem Ałtaju, pn. i pn.-zach. część Mongolii (mapa 5, poz. 5)	Lasy na tarasach zalewowych o charakterze stepowym z małą ilością opadów w lecie, ze słonymi jeziorami. Często nad brzegami rzek. Na terenach półpustynnych; wcześnie zrzuca liście w wyniku suszy	Dolny bieg Jeniseju do Kręgu Polarnego, ok. 65° szer. pn. w górach do 1000 m	15—20 m	Pędy szare lub żółte, owłosione, ostro kanciaste, przeważnie z trzema skrzydlastymi, korkowymi żebrami	Duża mrozoodporność (Sokołow). W Polsce rośnie powoli, łatwo przemarza, zwłaszcza młode egzemplarze
	P. suaveolens Fisch. topola wonna	Azja pn.-wsch., wsch. Syberia, Przedbajkale do Anadiru i Kamczatki, pn. część Mongolii i Chin (mapa 5, poz. 7)	Tundra: tarasy zalewowe rzek; lasotundra, gdzie tworzy swoiste gaje wzdłuż rzek, zwłaszcza Burei; lasy zalewiskowe; w Sajanie jako element lasów złożonych z sosny, modrzewia i brzozy; doliny rzek na Kamczatce; poza granicami zwartych lasów tworzy z wierzbą koreańską rozrzucone gaje	Do 72° szer. pn. W górach do 1000 m (Sajan)	Do 25 m	Pędy cylindryczne, żółtawe lub szare, o lepkich, aromatycznych pączkach	Bardzo odporna nawet na silne mrozy
	P. maximowiczii Henry topola Maksimowicza	Azja: Daleki Wschód, basen Amuru, Sachalin, pn. Chiny, Korea, pn. Japonia (mapa 5, poz. 6)	Doliny rzek, pojedynczo w wielkolistnych lasach mieszanych. Na tarasach zalewowych Amuru tworzy charakterystyczne lasy parkowe. Na Sachalinie tworzy czyste drzewostany, w Japonii występuje w lasach	Do 52° szer. pn.	W Polsce, do 30 m, w naturalnych warunkach	Pędy obłe, kanciaste, owłosione, szarobrązowe	Mrozoodporna, w naszym klimacie zimuje dobrze
	P. koreana Rehd. topola koreańska	Azja: Daleki Wschód, Korea (mapa 5, poz. 3)	Nad rzekami; dobrze przystosowuje się do różnego typu gleb	Do 54° szer. pn.	Do 25 m	Pędy cylindryczne, nieowłosione lub włochate, brązowo-czerwone lub jasnobrązowe, pączki długie, lepkie, aromatyczne	Mała mrozoodporność (Sokołow). W Polsce zach. zimuje dobrze, również egzemplarze młode
s. *Leuce* Duby	*P. alba* L. topola biała, białodrzew	Europa: pd. część Europy zach., środk. i wschodniej. (Wątpliwe czy jest formą endemiczną na płw. Pirenejskim, Sycylii, w pd. Francji, Szwajcarii — Hegi, 1957) Azja zach. po Syberię, na pd. po Himalaje do Turkmenii i Kaukazu Mała Azja: Palestyna; Afryka pn. (mapa 5, poz. 4)	Doliny rzek, brzegi jezior; pojedynczo lub w grupach, często z topolą czarną. Tworzy zagajniki lub lasy łęgowe na dostatecznie wilgotnych glebach. Dobrze znosi zatopienie, odporna na zasolenie gleby	Do 52° szer. pn. w europejskiej części ZSRR i do 54° szer. pn. w zach. Syberii W Alpach do 1540 m.	30—35 m	Długopędy i pączki pokryte białym kutnerem, kora gładka	Mrozoodporność średnia
	P. tremula L. osika	Europa z Irlandią do 71° szer. pn. w Skandynawii; europejska część ZSRR do 68°. Na południu do pd. części płw. Pirenejskiego, obejmuje Sycylię, płw. Bałkański, Grecję do Kaukazu Azja pd.-zach., Kazachstan, Mała Azja, na pn. do ok. 70° szer. pn.; Syberia, Daleki Wschód z wyjątkiem tundry; Chiny, Mongolia, Wyspy Kurylskie, pn. Korea, Mandżuria Afryka pn. Algeria (mapa 5, poz. 1)	Pospolita we wszystkich typach naszych lasów. Małe wymagania siedliskowe, spotykana na glebach suchych, piaszczystych wrzosowiskach oraz na podmokłych i torfiastych. Optymalne warunki wzrostu: klimat wilgotny, umiarkowany, nawet chłodny, gleby żyzne, głębokie. Jest gatunkiem pionierskim, zwłaszcza na pożarzyskach, stanowi pierwsze ogniwo sukcesji ekologicznej.	Na pn. do ok. 71° szer. pn., omija tereny tundry i wiecznej marzłoci. W Azji wsch. granica pn. tworzy dysjunkcje opadając do 60° szer. pn. Zamknięte obszary leżące na pn. od tej linii znajdują się w dolinach rzek Jana i Kołyma, odwadniających tereny wiecznej marzłoci. Granica górna: w Polsce do 900 m, w Alpach 1800 — 2000 m, w Zabajkalu 1200—1300 m.	30—35 m	Młode pędy gładkie, lub pokryte rzadkim kutnerem, bure, z soczewkowatymi przetchlinkami	Duża mrozoodporność

Tabela 7

Krótka charakterystyka ekologiczna badanych gatunków z rodzaju *Lonicera*

Short ecological characterization of investigated species from the genus *Lonicera*

Rodzina Rodzaj Sekcja	Gatunek	Rozmieszczenie	Siedlisko	Granica zasięgu północna i górna	Osiągana wysokość rośliny	Opis pędów	Mrozoodporność
Caprifoliaceae *Lonicera* L. Podrodzaj: *Chamaecerasus* s.: *Isika* DC	*Lonicera caerulea* L. suchodrzew siny	Europa, z wyjątkiem północnych i północno-zachodnich wybrzeży Skandynawii. Azja: cała, do 68° szer. geogr. pn., Ameryka Pn.	Lasy, miejsca skaliste, krzaczaste. Gleby próchnicze. Pojedynczo występuje na torfowiskach alpejskich. W Alpach bezwapiennych, lecz pokrytych glebami próchniczymi	Do 69° szer. geogr. pn. W górach do 2600 m (Alpy)	Krzew do 2 m	Pędy prosto wzniesione wypełnione rdzeniem. Kora czerwono-brunatna lub jasnobrązowa, łuszcząca się smugowato	Gatunek odporny na niską temperaturę
s.: *Coeloxylosteum* Rehd.	*L. tatarica* L. suchodrzew tatarski	ZSRR: od dolnego i środkowego biegu Wołgi i południowego Uralu do Bajkału i Turkiestanu	Małe wymagania siedliskowe, dobrze znosi ocienienie	55°—57° szer. geogr. pn.	Krzew do 3 m	Pędy wzniesione, nieowłosione	Odporny na mróz i suszę
	L. xylosteum L. suchodrzew zwyczajny	Europa: prawie cała, z wyjątkiem obszarów arktycznych i części południowej. Azja: do 95° dł. geogr. zach. z wyjątkiem części północnych i południowych. Północna granica zasięgu tego gatunku przebiega prawie zgodnie z przedstawioną na mapie (mapa 6, poz. 4) granicą zasięgu całej sekcji Coeloxylosteum, natomiast południowa granica zasięgu L. xylosteum przesunięta jest w stosunku do granicy zasięgu całej sekcji na północ i przebiega przez pn. Francję, pd. Niemcy, kierując się do granicy lasu ze stepem, przebiegając przez Ufę, Nieżyn, Kamieniec Podolski, Besarabię. Na wschodzie dochodzi do Ałtaju, omijając pustynne tereny między Morzem Kaspijskim a Jeziorem Aralskim.	Lasy i zarośla, gdzie występuje w podszyciu; parkany, żywopłoty. Dobrze znosi zacienienie. Wymagania glebowe niewielkie, gleby suche.	W Skandynawii do 68° szer. pn., w Azji: 56°—58° szer. pn. Do północnej granicy zasięgu brzozy. W górach: Karpaty i Sudety po regiel dolny. Alpy: 1700—2000 m.	Krzew 1—2 m	Krzew sękaty, gałęzisty, pędy wzniesione, owłosione lub nagie, ciemnobrunatne, zimą szare. Pędy wewnątrz puste.	Odporny, w Polsce nie wymarza
	L. maackii Maxim suchodrzew Maacka	Azja pd.-wsch.: Mandżuria, Korea	Lasy dębowe i brzozowe, na polanach lub grupami wzdłuż brzegów rzek	45°—50° szer. pn.	Krzew do 4 m	Gałęzie zwisające łukowato, młode pędy owłosione (półzimozielona)	Wytrzymały na suszę i mrozy. W Polsce zach. nie przemarza nawet podczas mroźnych zim
Podrodzaj: *Periclymenum* L.	*L. caprifolium* L. wiciokrzew przewiercień, kozilistek	Europa środkowa i południowa: Portugalia, Włochy, Węgry, Austria, Kraje Nadbałkańskie, Krym. Azja zachodnia: Kaukaz, Zakaukazie. Zdziczała: Anglia, Francja, Belgia, Niemcy, Szwajcaria (Hegi, 1957)	Zarośla, łąki śródleśne	Do 50° szer. pn.	Pnącze do 8 m	Pędy nagie	Mrozoodporność średnia; w naszym klimacie, zimą, jego pędy wystające ponad okrywę śnieżną często przemarzają
	L. periclymenum L. wiciokrzew pomorski	Europa zachodnia, część środkowa i południowa: Irlandia, W. Brytania, Francja, Niemcy, Szwajcaria, Portugalia, Hiszpania, Włochy, Cypr, Mała Azja, Kaukaz, Zakaukazie. Hegi podaje występowanie tego gatunku poza granicami zasięgu podrodzaju Periclymenum — przedstawionymi przez Sokołowa (mapa 6, poz. 1). W Polsce, na Pomorzu występuje również poza granicami zasięgu podrodzaju.	Zarośla, brzegi lasów, krzaczaste zbocza	Do 51° szer. pn.	Pnącze do 5 m	Młode pędy owłosione	Mała mrozoodporność

Tabela 8

Krótka charakterystyka ekologiczna badanych gatunków z rodzaju *Viburnum*

Short ecological characterization of investigated species from the genus *Viburnum*

Rodzina Rodzaj Sekcja	Gatunek	Rozmieszczenie	Siedlisko	Granica zasięgu północna i górna	Osiągana wysokość rośliny	Opis pędów	Mrozoodporność
Caprifoliaceae *Viburnum* s.: *Thyrosoma* Rehd.	*Viburnum sieboldii* Miq. kalina Siebolda	Japonia centralna i południowa	Gleby wilgotne, słabe ocienienie	Do ok. 40° szer. geogr. pn.	Krzew do 2 m	Pędy grube, w młodości owłosione	Wrażliwa na mróz, w Polsce zach. przemarza w czasie dużych mrozów
s.: *Lantana* Rehd.	*Viburnum lantana* L. hordowina	Europa środkowa i południowa, Kaukaz, Mała Azja, Afryka pn. W Polsce: zachodnie skrzydło Tatr	Małe wymagania glebowe. Znosi stanowiska suche, ocienienie. Gleby wapienne. Występuje w zaroślach, na skalistych zboczach, słonecznych skrajach lasów, na porębach, łąkach	Alpy: do 1600 m Do ok. 53° szer. geogr.	Krzew do 5 m wys. lub niewielkie drzewko	Młode pędy pokryte gęstym kutnerem, starsze nagie	Odporna na mrozy
	Viburnum rhytidophyllum Hemsl. kalina sztywnolistna	Chiny środkowe i zachodnie	Stanowiska słoneczne jak i ocienione, gleby umiarkowanie wilgotne, szybko nagrzewające się	Do ok. 50° szer. geogr. W górach do 2250 m	Krzew zimozielony do 3 m	Młode pędy i pączki obficie pokryte gwiazdkowatym kutnerem (półzimozielona)	Stosunkowo wytrzymała na mrozy
s.: *Pseudotinus* Clarce	*Viburnum tomentosum* Thunb. kalina japońska	Japonia, Chiny	Stanowiska słoneczne, gleby umiarkowanie wilgotne	W górach do 2100 m Do ok. 50° szer. geogr.	Krzew do 4 m	Młode pędy pokryte kutnerem	Bardzo wrażliwa na niskie temperatury. W Polsce zach. w czasie ostrzejszych zim przemarzają jej pędy ponad okrywą śnieżną
s.: *Opulus*	*Viburnum opulus* L. kalina koralowa	Cała Europa z wyjątkiem północnych krańców, Kaukaz, Syberia, Mała Azja, Afryka: pn. Algier. W Polsce pospolita	Wilgotne lasy, zarośla, często nad wodami. Dobrze znosi zacienienie. Kserofilne cechy kontrastują z upodobaniem tego gatunku do występowania w miejscach wilgotnych	No pn. do 67° szer. geogr. Alpy: do 1400 m	Krzew do 4 m wys., niewysokie drzewo	Pędy kanciaste, nagie lub prawie nagie	Duża mrozoodporność

właściwy masy drzewnej na pniu (świeżej masy) układa się, jak następuje:

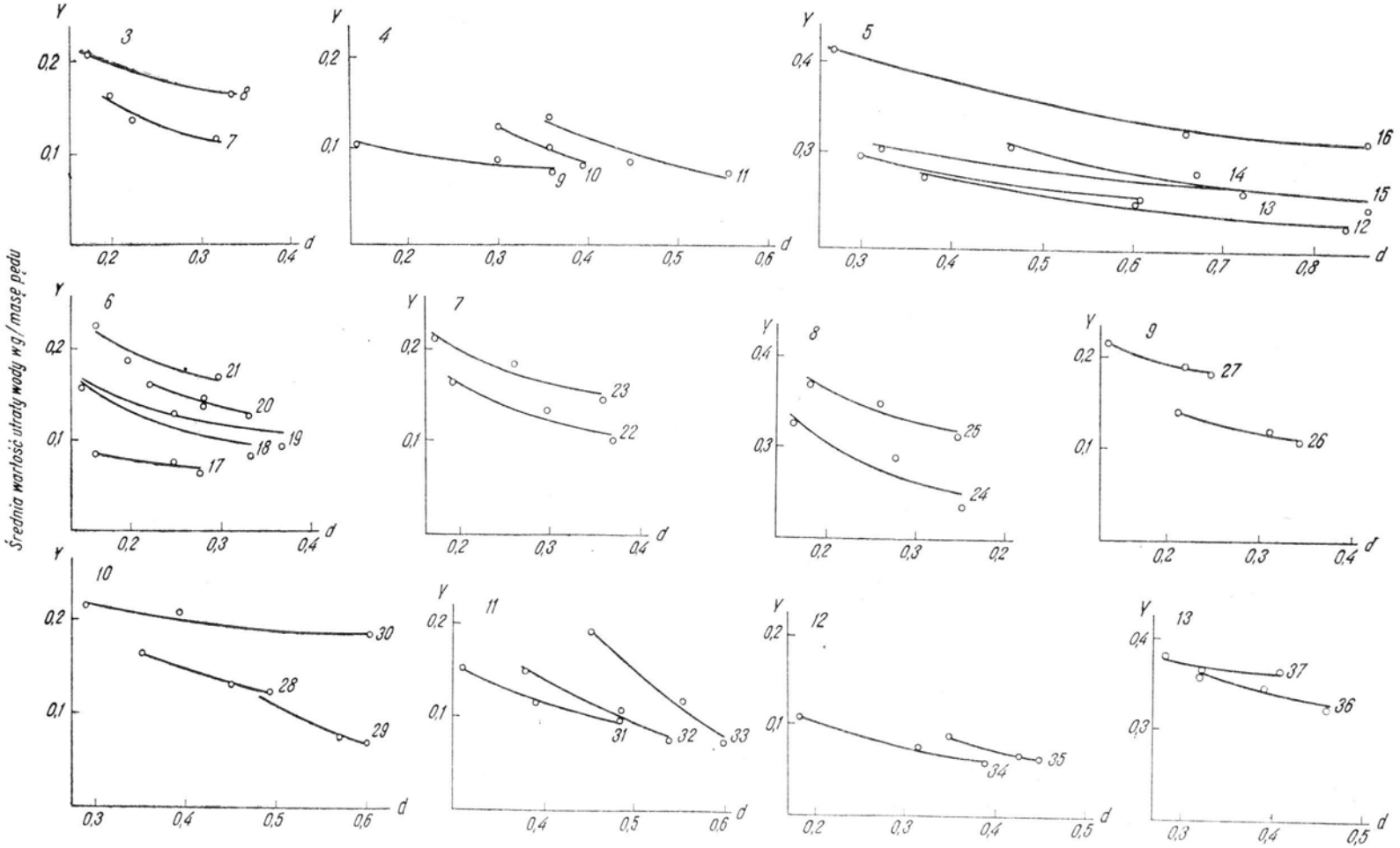
Gatunek	Ciężar właściwy kg/m³		
	notowany		średnio
	od	do	
Populus alba	800	1100	950
P. nigra	730	1070	900
P. tremula	580	990	810

Jeżeliby więc o wielkości transpiracji decydował tylko ciężar właściwy drewna, to najsilniej transpirowałaby *P. tremula*, a najsłabiej — *P. alba*. Tymczasem jest odwrotnie. Świadczy to, że dominującą rolę odgrywają tu inne, przyrodzone cechy poszczególnych gatunków.

Wyniki badań zimowej transpiracji pędów różnych gatunków topoli, przeprowadzonych w trzech różnych miejscowościach (Rogów, Kórnik i Sękocin), zebrano w tabeli 3 i przedstawiono w postaci wykresów 3, 4 i 5 (ryc. 3). W Rogowie wyraźnie większą transpirację zimową od *P. tremula* wykazuje *P. alba* (wykres 3), na przykład: przy grubości pędów 0,25 cm *P. alba* charakteryzuje wartość utraty wody 0,18 g/1 g pędu, gdy tymczasem wartość ta dla *P. tremula* wynosi 0,13 g wody/1 g pędu. W Kórniku, z trzech badanych gatunków topoli największą transpirację zimową pędów wykazuje *P. maximowiczii*, najmniejszą zaś *P. tremula* (wykres 4). Mianowicie, przy grubości pędu równej (przykładowo) 0,36 cm, *P. maximowiczii* transpiruje 0,13 g wody/1 g pędu, natomiast *P. tremula* tylko 0,08 g/1 g pędu. Miejsce pośrednie pod względem intensywności transpiracji zimowej pomiędzy tymi gatunkami zajmuje *P. koreana* (0,10 g/1 g pędu). W Sękocinie największą transpirację zimową wykazują pędy *P. maximowiczii*, najmniejszą zaś *P. suaveolens* (wykres 5 i 14 na ryc. 3). Przykładowo: pędy *P. maximowiczii* o grubości 0,5 cm wykazują zimą utratę 0,35 g wody/1 g pędu, gdy tymczasem tej samej grubości pędy *P. suaveolens* tracą tylko 0,25 g wody/1 g pędu. Pośrednie miejsce pod względem utraty wody zimą zajmują w Sękocinie *P. koreana* (0,31 g), *P. nigra* (0,28 g) i *P. laurifolia* (0,27 g).

Badane gatunki topoli można uszeregować według wzrastających wartości intensywności utraty wody przez ich pędy w okresie zimowego spoczynku w każdej z miejscowości, jak następuje:

Sękocin	Kórnik	Rogów
P. suaveolens	—	—
—	*P. tremula*	*P. tremula*
P. laurifolia	—	—
P. nigra	—	—
P. koreana	*P. koreana*	—
P. maximowiczii	*P. maximowiczii*	—
—	—	*P. alba*


Średnia wartość utraty wody w g/masę pędu
Y
d
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

Ryc. 3-13. Straty wody u zbadanych gatunków topoli, wiciokrzewu i kaliny

Y — średnie utraty wody (w g na masę pędu); d — średnia grubość pędu (cm)

Figs. 3-13. Water loss in investigated species of *Populus*, *Lonicera* and *Viburnum*

Y — mean value of water loss in g/shoot mass; d — mean shoot thickness, in cm

3. Rogów: 7 — *Populus tremula* L., 8 — *P. alba* L.: 4. Kórnik: 9 — *P. tremula* L., 10 — *P. koreana* Rehd., 11 — *P. maximowiczii* Henry; 5. Sękocin: 12 — *P. suaveolens* Fisch., 13 — *P. laurifolia* Ledeb., 14 — *P. nigra* L., 15 — *P. koreana* Rehd., 16 — *P. maximowiczii* Henry; 6. Warszawa: 17 — *Lonicera caerulea* L., 18 — *L. xylosteum* L., 19 — *L. tatarica* L., 20 — *L. periclymenum* L., 21 — *L. caprifolium* L.; 7. Rogów: 22 — *L. xylosteum* L., 23 — *L. periclymenum* L.; 8. Wrocław: 24 — *L. tatarica* L., 25 — *L. maackii* Maxim.; 9. Kórnik: 26 — *L. maackii* Maxim., 27 — *L. caprifolium* L.; 10. Kórnik: 28 — *Viburnum opulus* L., 29 — *V. lantana* L., 30 — *V. tomentosum* Thunb.; 11. Rogów: 31 — *V. opulus* L., 32 — *V. lantana* L., 33 — *V. rhytidophyllum* Hemsl.; 12. Warszawa: 34 — *V. opulus* L., 35 — *V. lantana* L.; 13 Wrocław: 36 — *V. opulus* L., 37 — *V. sieboldii* Miq.

Wyniki badań zimowej transpiracji pędów różnych gatunków z rodzaju *Lonicera*, przeprowadzonych w czterech różnych miejscowościach (Warszawa, Rogów, Wrocław i Kórnik), zebrano w tabeli 4 i przedstawiono w postaci wykresów 6, 7, 8 i 9 (ryc. 3).

W Warszawie spośród 5 gatunków z rodzaju *Lonicera* zdecydowanie najwyższą transpirację zimową pędów wykazuje *L. caprifolium* L., najmniejszą zaś *L. caerulea*, natomiast miejsce pośrednie pod względem ilości utraty wody między tymi gatunkami zajmują *L. periclymenum*, *L. tatarica* i *L. xylosteum* (wykres 6). Zaznaczyć należy, iż wszystkie badane gatunki z rodzaju *Lonicera* w Warszawie istotnie różnią się między sobą intensywnością utraty wody przez pędy zimą. I tak dla przykładu: przy grubości pędów 0,25 cm *L. caprifolium* traci 0,18 g wody/1 g pędu, *L. periclymenum* 0,15 g, *L. caerulea* 0,07 g. W Rogowie stwierdzono wyższą utratę wody zimą przez pędy *L. periclymenum* niż przez pędy *L. xylosteum* (wykres 7). Przykładowo: przy grubości 0,25 cm pędy *L. periclymenum* tracą zimą 0,18 g wody/1 g pędu, gdy tymczasem pędy *L. xylosteum* tracą tylko 0,14 g wody. We Wrocławiu wyraźnie wyższą utratę wody przez pędy zimą wykazuje *L. maackii* niż *L. tatarica*, mianowicie, przy grubości 0,25 cm pędy *L. maackii* tracą 0,34 g wody/1 g pędu, a pędy *L. tatarica* tylko 0,28 g (wykres 8). W Kórniku zdecydowanie wyższą utratę wody przez pędy zimą wykazuje *L. caprifolium* od pędów *L. maackii* (wykres 9). Na przykład, pędy *L. caprifolium* przy grubości 0,25 cm tracą 0,18 g wody/1 g pędu, a pędy *L. maackii* 0,13 g.

Zbadane gatunki z rodzaju *Lonicera* można więc uszeregować według wzrastających wartości utraty wody zimą w poszczególnych miejscowościach, analogicznie do uszeregowania gatunków topoli, następująco:

Warszawa	Rogów	Wrocław	Kórnik
L. caerulea	—	—	—
L. xylosteum	*L. xylosteum*	—	—
L. tatarica	—	*L. tatarica*	—
L. periclymenum	*L. periclymenum*	—	—
—	—	*L. maackii*	*L. maackii*
L. caprifolium	—	—	*L. caprifolium*

Z przedstawionych szeregów gatunków *Lonicera* widoczny jest fakt, iż spośród badanych gatunków tego rodzaju najwięcej wody zimą tracą pędy *L. caprifolium*, najmniej natomiast pędy *L. caerulea* i nieco tylko więcej pędy *L. xylosteum*.

Wyniki badań zimowej transpiracji pędów różnych gatunków z rodzaju *Viburnum*, przeprowadzonych w czterech miejscowościach (Kórnik, Rogów, Warszawa i Wrocław), zebrano w tabeli 5 i przedstawiono na wykresach 10, 11, 13.

W Kórniku stwierdzono największą utratę wody u pędów *V. tomentosum*, najmniejszą zaś u pędów *V. opulus;* pod tym względem miejsce pośrednie pomiędzy wymienionymi gatunkami zajmuje *V. lantana* (wykres 10). Na przykład, pędy o grubości 0,50 cm u *V. tomentosum* tracą zimą 0,19 g wody/1 g pędu, u *V. lantana* 0,13 g, a u *V. opulus* tylko 0,11 g.

W Rogowie stwierdzono najwyższą utratę wody u pędów *V. rhytidophyllum*, najmniejszą zaś również u *V. opulus;* pośrednie miejsce pod tym względem zajmuje *V. lantana* (wykres 11). Na przykład, przy grubości 0,47 cm pędy *V. rhytidophyllum* tracą zimą 0,18 g wody/1 g pędu, *V. lantana* 0,11 g, a *V. opulus* tylko 0,10 g.

W Warszawie pędy *V. lantana* wykazują wyraźnie większą utratę wody zimą od pędów *V. opulus*, mianowicie, przy grubości pędów 0,35 cm *V. lantana* traci 0,09 g wody/1 g pędu, a *V. opulus* 0,07 g (wykres 12).

We Wrocławiu stwierdzono wyższą utratę wody zimą u pędów *V. sieboldii* niż u *V. opulus*. Przykładowo: pędy o grubości 0,40 cm u *V. sieboldii* tracą 0,37 g wody/1 g pędu, a u *V. opulus* 0,34 g (wykres 13).

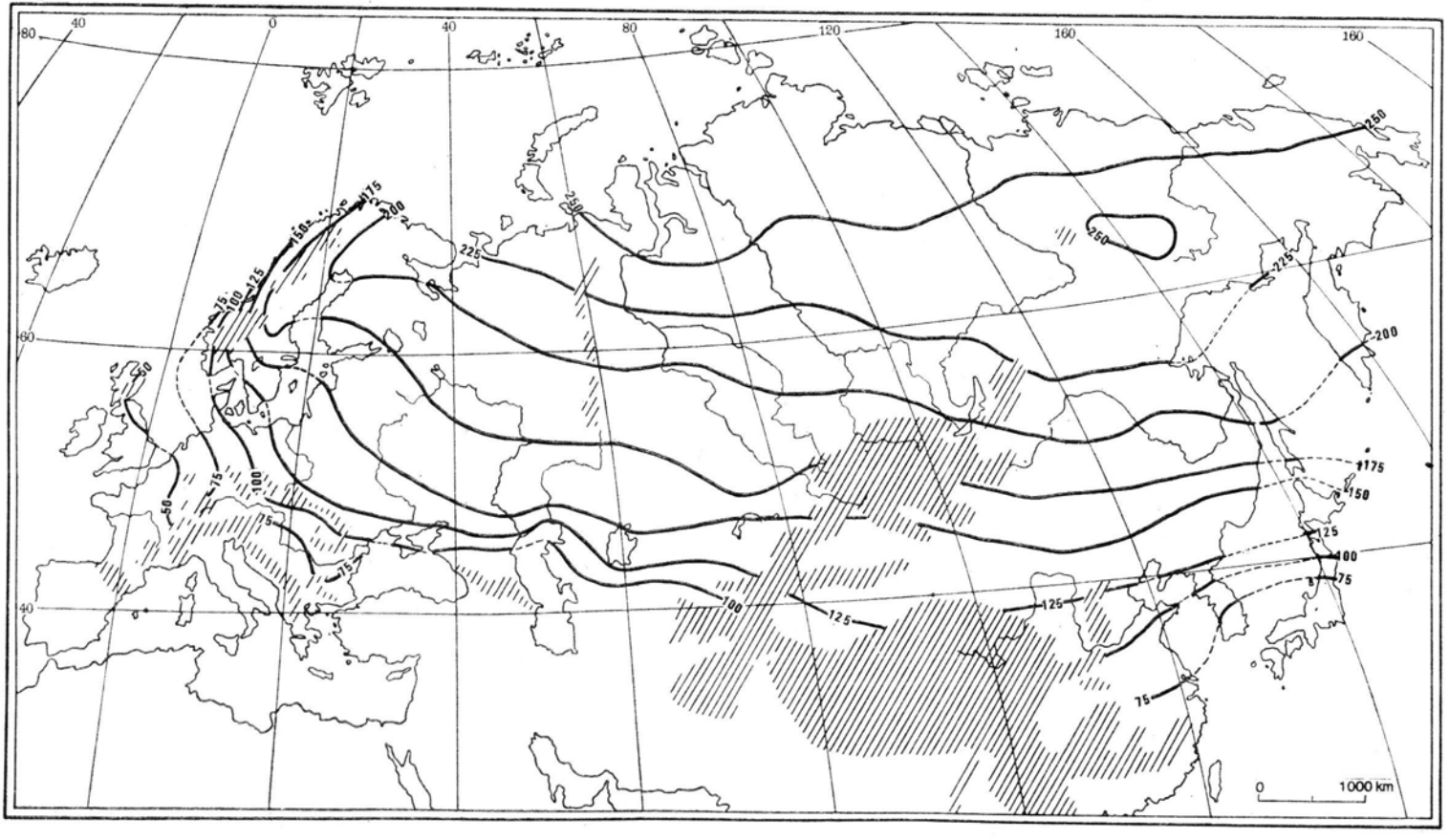
Badane gatunki z rodzaju *Viburnum* można również uszeregować według wzrastających wartości utraty wody zimą w poszczególnych miejscowościach:

Warszawa	Rogów	Wrocław	Kórnik
V. opulus	*V. opulus*	*V. opulus*	*V. opulus*
V. lantana	*V. lantana*	—	*V. lantana*
—	*V. rhytidophyllum*	*V. sieboldii*	*V. tomentosum*

We wszystkich miejscowościach zatem, najmniejszą utratę wody zimą wykazuje *V. opulus*, największą zaś, w trzech poszczególnych miejscowościach: *V. rhytidophyllum*, *V. sieboldii* i *V. tomentosum*. *V. lantana*, w trzech miejscowościach, zajmuje pod tym względem miejsce pośrednie.

B. Północna granica zasięgu zbadanych gatunków na tle warunków klimatycznych

Sporządzone mapy dają obraz warunków klimatycznych panujących na terytorium Eurazji w okresie spoczynku zimowego roślin. Analizując uzyskane wyniki stwierdzić można ogólnie, że Europa zachodnia i środ-



Mapa 1. Długość okresu spoczynku zimowego roślin (średnia liczba dni)

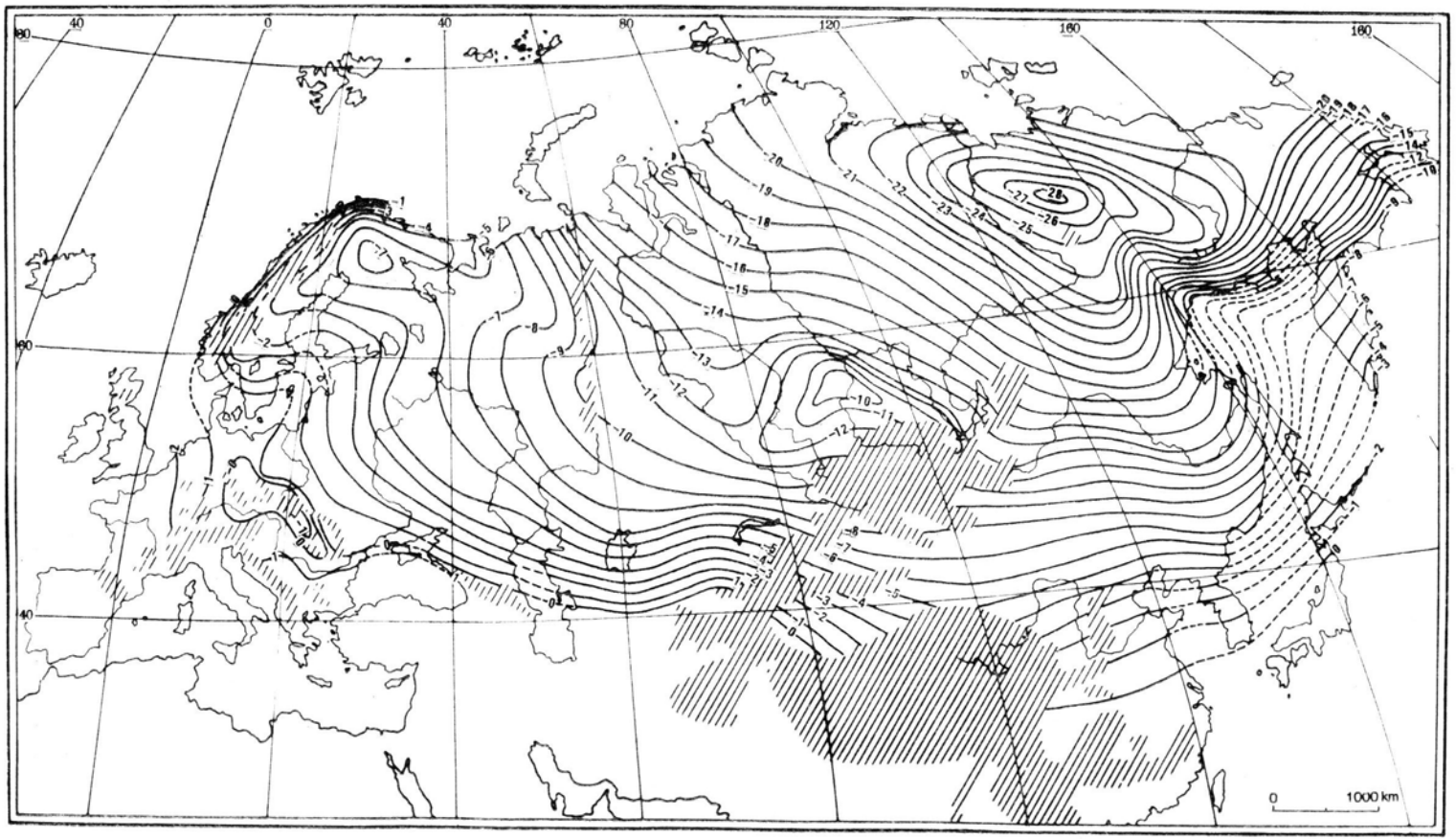
Map 1. Length of rest period of plants (mean number of days)

kowa w stosunku do jej części wschodniej i do Azji wykazuje mniejszą rozpiętość wartości omawianych elementów.

Długość okresu spoczynku (mapa 1) z temperaturą średnią poniżej +3°C wynosi w Europie zachodniej 50 dni, w Europie środkowej 75 do 100 dni, w Europie pn.-wsch. do 250 dni, a w Azji trwa jeszcze dłużej, zwłaszcza na jej północnych krańcach. Część Europy leżąca na zachód od linii Bruksela — Turyn nie wykazuje w okresie zimy temperatury średniej sięgającej poniżej +3°C, została więc pominięta w rozważaniach klimatologicznych. W Polsce długość zimy, według przyjętego przeze mnie kryterium, waha się od 110 dni na zachodzie do 150 dni na północnym wschodzie.

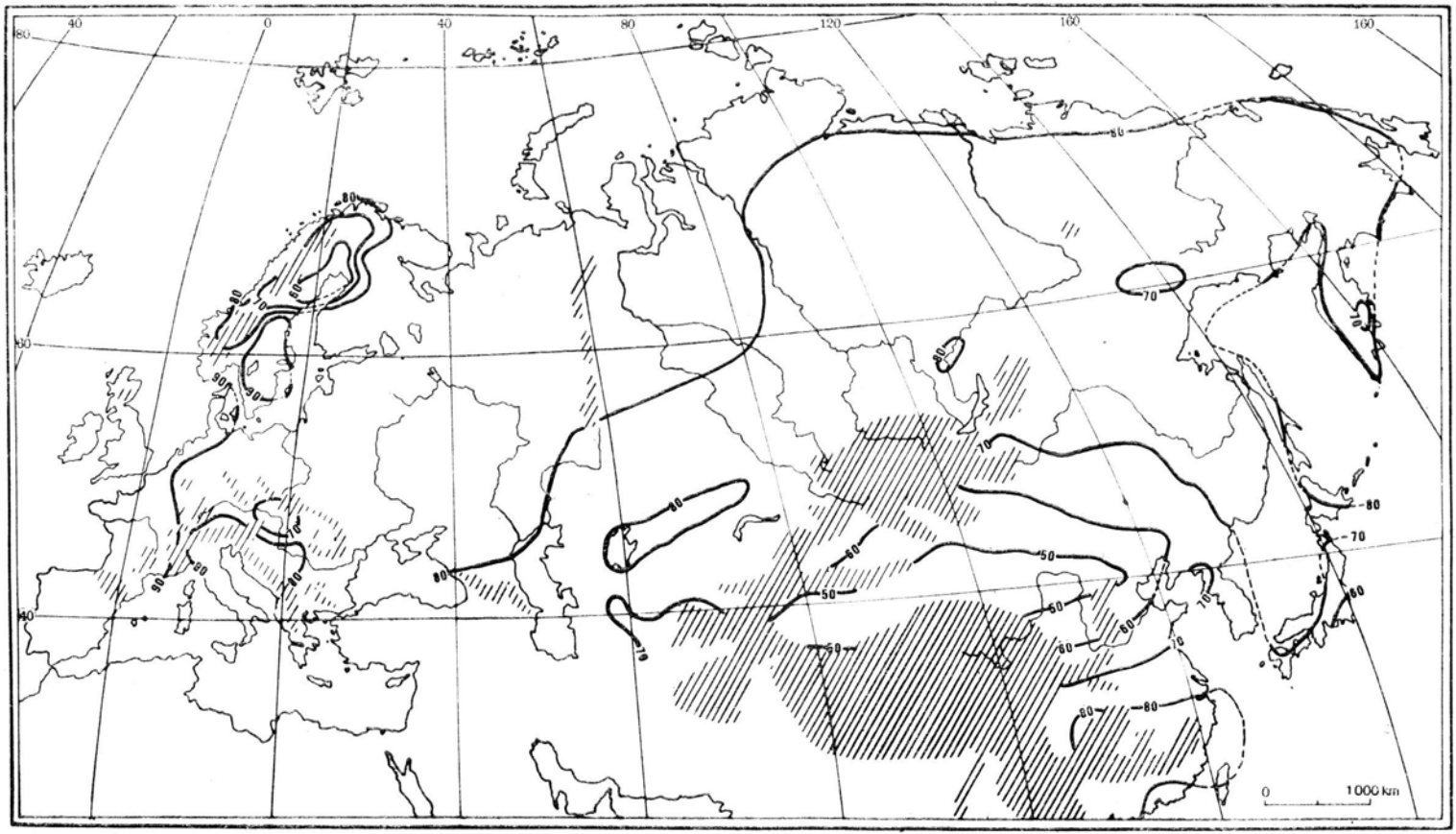
Przy porównaniu przebiegu linii długości okresu spoczynku daje się zauważyć ich kierunek z północy na południe z nieznacznym odchyleniem ku zachodowi w Europie północnej, oraz z zachodu na wschód z odchyleniem ku południowi w Europie wschodniej i Azji. Powoduje to zbliżone do południkowego zróżnicowanie długości okresu zimy w Europie zachodniej i środkowej, a raczej równoleżnikowe w części wschodniej i Azji. Przypuszczalnie jest to wynikiem ścierania się wpływu Oceanu Atlantyckiego od zachodu z kontynentalnym klimatem od wschodu. To ścieranie się następuje na terenie Polski i właśnie tu obserwuje się zmianę kierunku poszczególnych izolinii. Długość okresu zimy wzrasta stopniowo, najpierw z zachodu na wschód, a następnie z południa na północ. Linie układają się w zasadzie równolegle. Jedyny zamknięty obszar, opasany linią ciągłą, znajduje się w okolicy Ojmiakonu w Azji, gdzie długość zimy wzrasta w kierunku jego centrum.

Rozpatrując rozkład średniej temperatury okresu zimy (mapa 2) zwraca uwagę fakt, że biegun zimna Europy leży w Finlandii w okolicy Kajaami — z temperaturą średnią −7°C, a w Azji w okolicy Ojmiakonu — ze średnią temperaturą −28°C. W Europie 5° dł. geogr. wsch. stanowi mniej więcej zachodnią granicę zimy o średniej temperaturze poniżej +3°C. Rozkład temperatury w Europie zachodniej i środkowej przebiega prawie południkowo. Poza wpływem Atlantyku daje się zauważyć również ocieplające w zimie działanie Bałtyku. Karpaty i Sudety wpływają na zaostrzenie klimatu zim przyległych obszarów. Widać to wyraźnie nawet po wyeliminowaniu z map samych pasm górskich. Linia 0°C przebiega przez Polskę zachodnią i północną część Morza Czarnego, a drugim swym zasięgiem obejmuje obszar Karpat i Sudetów. W Azji w okolicach Krasnojarska, pomiędzy izotermą −11°C a −12°C występuje zamknięty, nieco cieplejszy obszar, gdzie średnia temperatura podnosi się ponad −10°C. Poza omówionym już biegunem zimna, izotermy biegną w zasadzie równolegle z kierunku północno-zachodniego na południowo-wschodni, aż do 130° dł. geogr. wsch., od której to linii daje się zauważyć zmiana ich kierunku na zachodnio-wschodni, powodowana niewątpliwie wpływem Oceanu Spokojnego.



Mapa 2. Średnia temperatura okresu spoczynku zimowego roślin (°C)

Map 2. Mean temperature of winter rest period of plants (°C)

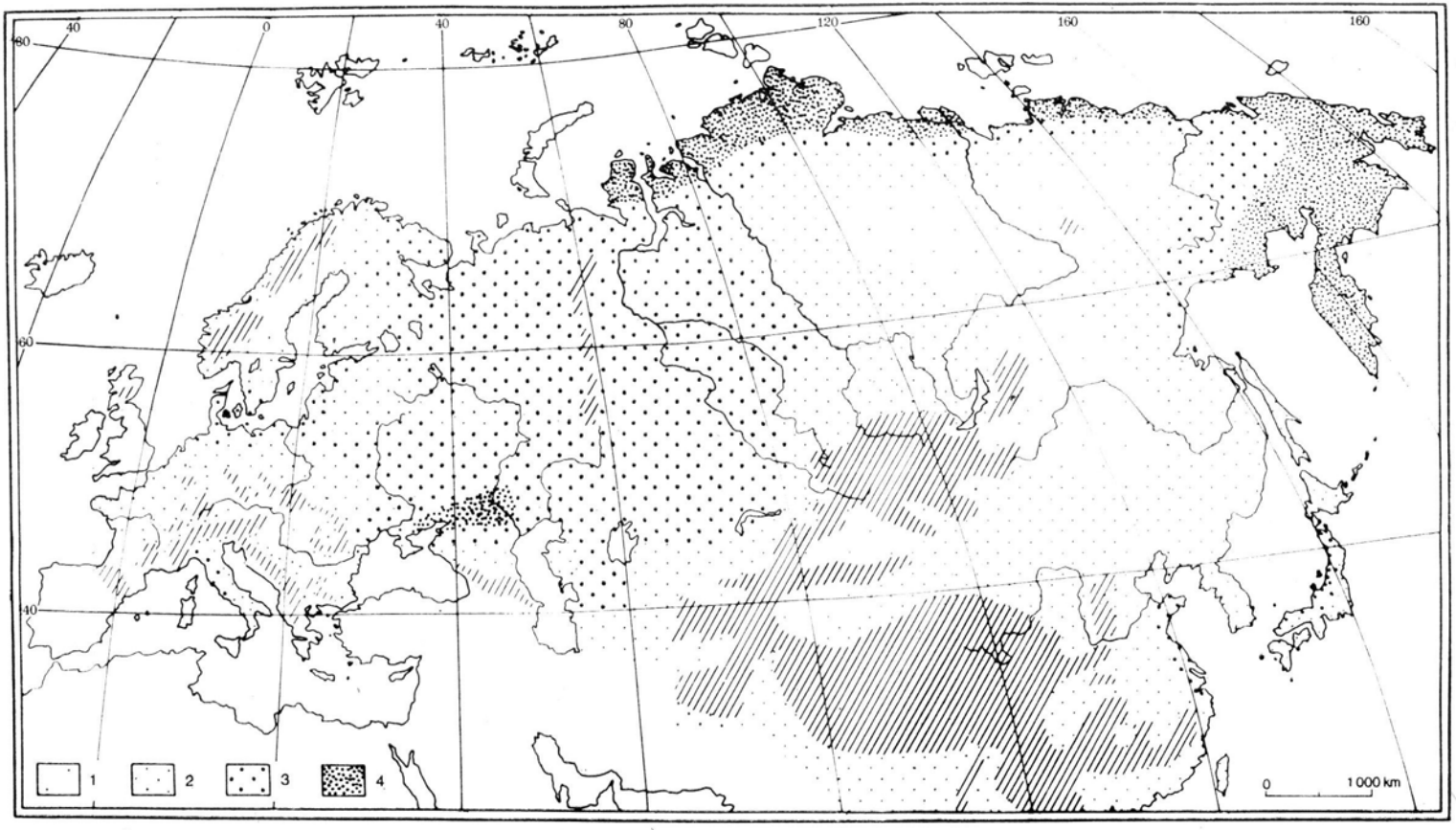


Mapa 3. Wilgotność względna powietrza w okresie spoczynku zimowego roślin

Map 3. Relative humidity of air in winter rest period of plants

Mapa 3 przedstawia rozkład wilgotności powietrza w zimie. Izolinie kreślone ze skokiem co 10% wilgotności dają mało zróżnicowany obraz rozkładu wilgotności. Stosowanie większej gęstości linii, np. co 5%, ujawniało szereg drobnych, zamkniętych obszarów, lecz zbyt mała liczba stacji uniemożliwiała nakreślenie linii uzasadnionych obserwacjami. Pozostano więc przy skoku co 10%. Jak wynika z załączonej mapy, najmniejszą wilgotność względną w Europie w okresie zimy wykazują terytoria o stosunkowo niskiej temperaturze, a więc pn. część Szwecji i Finlandii leżąca w obrębie Koła Polarnego. Wilgotność wynosi tu około 60%, wzrastając w kierunku Oceanu Atlantyckiego, Bałtyku i w głąb Rosji. Drugi obszar o niskich wartościach wilgotności względnej rozciąga się od Karpat do Niziny Węgierskiej. Zachodnie wybrzeża Półwyspu Skandynawskiego wykazują 80% wilgotności, a wschodnie, od strony Bałtyku — 90%. W Europie zachodniej wilgotność względna wynosi 90% i maleje w kierunku wschodnim. Izolinia wilgotności 80% biegnie od Morza Czarnego przez Morze Kaspijskie, Ural i Nizinę Zachodnio-Syberyjską w kierunku pn.-wsch., następnie kieruje się na północ wzdłuż rzeki Jenisej, a dalej w kierunku wschodnim, granicami Wyżyny Środkowo-Syberyjskiej. Obszary leżące na wschód i południe od tej linii wykazują wilgotność stopniowo zmniejszającą się, aż do 50% wilgotności na obszarze Wielkich Pustyń: Gobi, Ałaszan i Kaszgar. Dalej w kierunku południowym i wschodnim wilgotność rośnie do 80%. Ciekawym wydaje się występowanie niskiej wilgotności względnej na wschodnich wybrzeżach wysp japońskich (60%). Ogólnie można stwierdzić dużo większą wilgotność względną zimy w Europie niż w Azji. Dotyczy to również wybrzeży morskich: wilgotność wybrzeży Atlantyku waha się w granicach 80-90%, a Pacyfiku 60-80%. Rozkład wilgotności względnej w okresie zimy uwarunkowany jest temperaturą powietrza. Obraz rozkładu wilgotności względnej całego okresu zimy ograniczonego progiem +3°C jest nieco zbliżony do rozkładu wilgotności względnej powietrza w styczniu (poz. bibliogr. 29).

Mapa 4 przedstawia rozkład prędkości wiatru, mierzonego w m/sek w dolnych warstwach atmosfery. Najcichszymi terytoriami Europy w czasie zimy są: Nizina Węgierska, gdzie średnia prędkość wiatru wynosi do 2 m/sek, i wschodnie wybrzeże Półwyspu Skandynawskiego, osłonięte pasmem gór od wiatrów wiejących znad Atlantyku. Średnia prędkość wiatru w okresie zimy w Europie zachodniej wynosi 2-4 m/sek, z wyjątkiem wybrzeży Bałtyku, gdzie wykazuje wielkość 4-6 m/sek. Silniejsze wiatry wieją jedynie od Morza Czarnego przez Zagłębie Donieckie w kierunku Morza Kaspijskiego. Średnia prędkość wiatru wynosi tu 6-8 m/sek i więcej. W Azji najsilniejsze wiatry, 6-8 m/sek i więcej, wieją na północnych wybrzeżach Morza Arktycznego i Morza Beringa, malejąc stop-



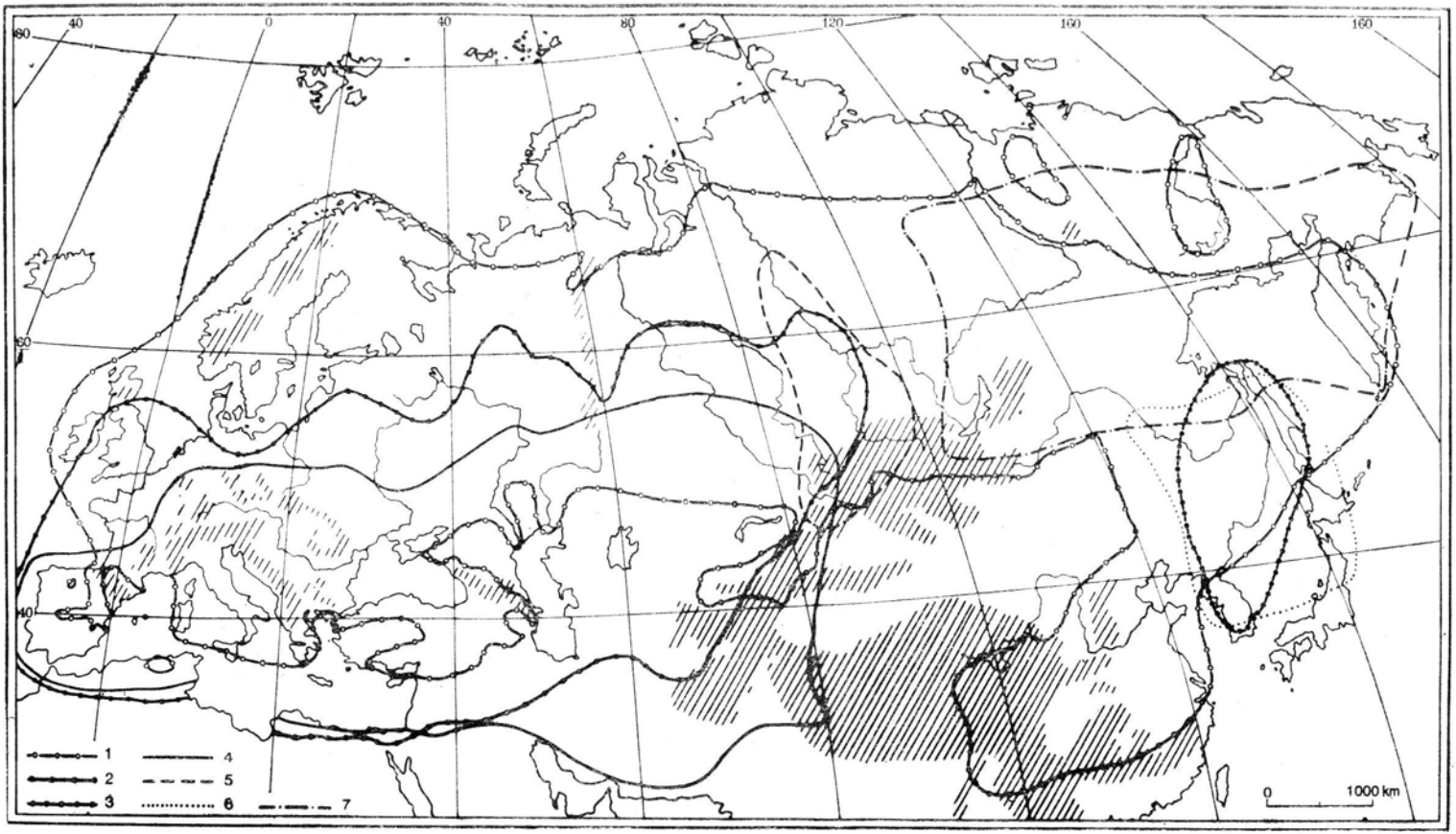
Mapa 4. Średnia prędkość wiatru w okresie spoczynku zimowego roślin

Map 4. Mean velocity of wind in winter rest period of plants

1. 0-2 m/sek; 2. 2,1-4 m/sek; 3. 4,1-6 m/sek; 4. 6,1-8 m/sek

niowo w głąb kontynentu. Najcichszy jest obszar Wyżyny Środkowo-Syberyjskiej, 0-2 m/sek. Wiatry na wschodnich wybrzeżach Morza Żółtego oraz południowych i zachodnich wybrzeżach Morza Japońskiego wykazują w ciągu zimy średnią prędkość 4-6 m/sek. Wartości prędkości wiatru, przedstawione na mapie dla Sachalinu i wybrzeży Morza Japońskiego, oparte są na pomiarach niedużej liczby stacji meteorologicznych, nie ilustrują więc w sposób pełny stosunków wietrznych tych obszarów.

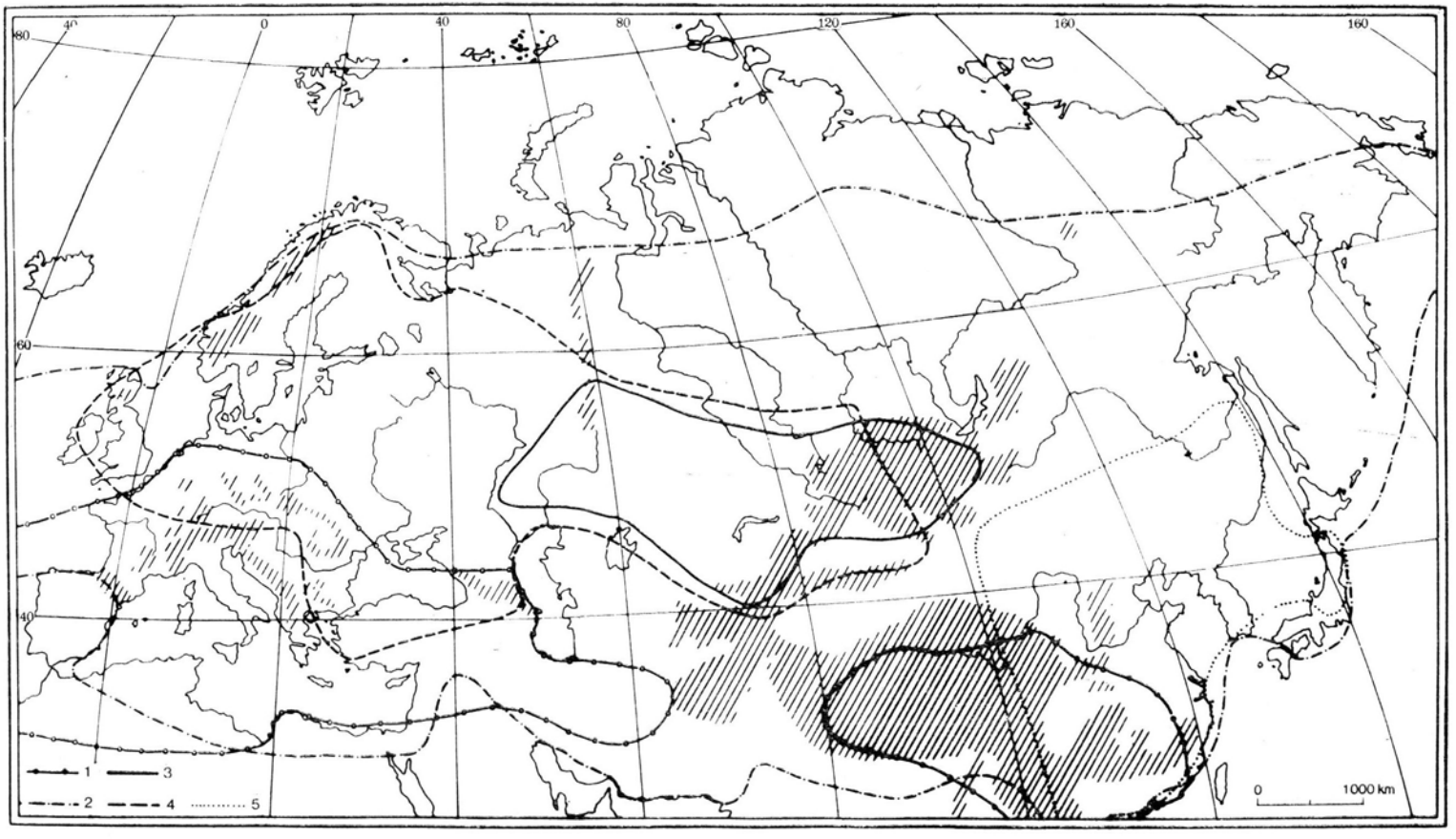
Mapy 5 i 6 przedstawiają granice zasięgu badanych gatunków z rodzajów *Populus* i *Lonicera*. Rozpatrując północne granice zasięgu poszczególnych gatunków na tle przedstawionych wyżej warunków klimatycznych Eurazji w okresie zimy, nie stwierdza się identycznej zgodności w przebiegu tychże granic z rozkładem izolinii poszczególnych elementów klimatycznych. Jest to oczywiste, gdy weźmie się pod uwagę fakt, że nie pojedyncze elementy klimatyczne, lecz ich kompleksowe działanie decyduje o rozsiedleniu roślin na Ziemi. Tym niemniej można sugerować większy udział któregoś z elementów klimatycznych, a także powstawanie dysjunkcji lub załamanie się północnej granicy zasięgu danego gatunku pod wpływem określonych czynników klimatycznych. I tak z porównania granicy zasięgu rodzaju *Populus* (mapa 5) z mapą przedstawiającą średnią prędkość wiatru w okresie zimy (mapa 4) widać wyraźnie, że wiatry przekraczające średnią prędkość 6 m/sek wpływają ograniczająco na północną granicę zasięgu *P. tremula* na Syberii od strony Oceanu Lodowatego. Godny uwagi jest fakt ograniczania również południowej granicy zasięgu tego gatunku przez wiatry, których prędkość w zimie przekracza tę wartość na obszarze między półwyspem Krymskim a dolnym biegiem Wołgi. Dysjunkcje w przebiegu północnej granicy zasięgu *P. tremula* mogą być tłumaczone niską średnią temperaturą zimy (poniżej −27°C) i długim okresem zimy (ponad 250 dni) panującego tu bieguna zimna. U pozostałych dwóch eurazjatyckich gatunków topoli, mianowicie u *P. nigra* i *P. alba*, obserwuje się również odsunięcie północnej granicy zasięgu od wybrzeży Bałtyku, gdzie średnia prędkość wiatru w zimie wynosi ponad 4-6 m/sek. Wpływu wiatru o prędkości średniej ponad 4-6 m/sek można dopatrywać się również na przebieg północnej granicy zasięgu *P. suaveolens*, przy czym działanie jego potęgowane jest niską średnią temperaturą zimy (poniżej −15°C). Izolinia średniej temperatury zimy −15°C (mapa 2) zbliżona jest do przebiegu północnej granicy zasięgu dwóch azjatyckich gatunków topoli, *P. maximowiczii* i *P. koreana*. Odnośnie do tych gatunków można sugerować, że niska wilgotność powietrza w zimie, wynosząca tu poniżej 60% (mapa 3), przy stosunkowo wysokiej średniej temperaturze zimy (ok. −3°C) utrudnia tym gatunkom migrację w kierunku zachodnim, wpływając tym samym na kształtowanie się zachodniej granicy zasięgu.



Mapa 5. Granice zasięgu zbadanych gatunków z rodzaju *Populus*

Map 5. Boundaries of distribution of investigated species of the genus *Populus*

1 — *P. tremula* L.; 2 — *P. nigra* L.; 3 — *P. koreana* Rehd.; 4 — *P. alba* L.; 5 — *P. laurifolia* Ledeb.; 6 — *P. maximowiczii* Henry; 7 — *P. suaveolens* Fisch.



Mapa 6. Granice zasięgu rodzaju *Lonicera*

Map 6. Boundaries of distribution in the genus *Lonicera*

1 — podrodzaj (subgenus) *Periclymenum*; 2 — sekcja (sectio) *Isica*, podsekcja (subsectio) *Caerulea*; 3 — *Lonicera tatarica* L.; 4 — s. *Coeloxylosteum* L.; 5 — *Lonicera maackii* Maxim.

Istnieją również pewne analogie pomiędzy północnymi granicami zasięgu badanych gatunków a długością okresu zimy (mapa 1). Mianowicie *P. tremula* i *P. suaveolens* nie przekraczają swym północnym zasięgiem terenów, na których długość zimy wynosi więcej niż 250 dni, a *P. maximowiczii* i *P. koreana* — około 220 dni. U *P. nigra* i *P. alba* zależność ta nie jest widoczna, gdyż inny rozkład długości zimy w Europie niż w Azji (o czym była już mowa) powoduje dużą rozpiętość tej wartości, mianowicie: 75-225 na północnej granicy zasięgów tych gatunków.

Analiza mapy zasięgu rodzaju *Lonicera* (mapa 6) na tle przedstawionych mapami warunków klimatycznych daje podobne wyniki. Obserwuje się odsunięcie północnej granicy zasięgu sekcji *Caerulea* w Europie od wybrzeży morskich, gdzie wiatry przekraczają 4-6 m/sek, a na Syberii granica ta biegnie równolegle do wybrzeży Oceanu Lodowatego w znacznej od niego odległości, omijając tym samym tereny o podanej prędkości wiatru. Północna granica zasięgu *L. xylosteum* w Skandynawii również przebiega w pewnym oddaleniu od wybrzeży morskich, omijając też półwysep Kola i wybrzeże Morza Białego, gdzie średnia prędkość wiatru w zimie przekracza 4-6 m/sek. Przebieg północnej granicy zasięgu tego gatunku na Syberii wykazuje analogie do przebiegu izotermy zimy $-11°C$ (mapa 2). Północna granica zasięgu *L. tatarica* na obszarze Syberii i *L. maackii* we wschodniej części Azji wykazują również przebieg zbliżony do izotermy zimy $-11°C$. Natomiast północna granica zasięgu gatunków należących do podrodzaju *Periclymenum* wykazuje w Europie środkowej i wschodniej oraz w Azji dużą zgodność z przebiegiem izotermy zimy $0°C$.

Spostrzeżenia powyższe sugerują pewien wpływ czynników klimatycznych na przebieg północnej granicy zasięgu roślin, a kompleksowe ich działanie znajduje swój wyraz w wielkości wskaźnika zdolności suszącej powietrza, która to wielkość bezsprzecznie wpływa na transpirację zimową drzew i krzewów.

C. Zdolność susząca powietrza na północnej granicy zasięgu zbadanych gatunków z rodzaju *Populus*

Wartości suszącej zdolności powietrza na północnej granicy zasięgów zbadanych gatunków topoli przedstawiono w tabelach 9 i 10. Na podstawie tych wartości podzielono zbadane gatunki na dwie grupy. Do pierwszej zaliczono *P. nigra* i *P. alba*, które zasięgiem swym pokrywają całą Europę, z wyjątkiem jej części północnej, i tylko niewielką część Azji zachodniej (tab. 6, mapa 5). Linia północnego zasięgu tych gatunków pokrywa się w przybliżeniu z linią jednakowych wartości zdolności suszącej powietrza, obliczonej z wzoru

$$\left[p'\left(1-\frac{c}{100}\right)\right] l, \tag{17}$$

Tabela 9

Zdolność susząca powietrza na północnej granicy zasięgu *Populus nigra* L. i *Populus alba* L.

Evaporational air capacity on the northern boundary of geographical distribution of *Populus nigra* L. and *Populus alba* L.

Gatunek	Szerokość geogr.	Długość geogr.	Średnia temp. zimy $\bar{t}$ (°C)	Prężność pary wodnej p′	Długość okresu zimy l (dni)	Względna wilgotność powietrza c (%)	$p'\left(1-\frac{c}{100}\right)$	$\left[p'\left(1-\frac{c}{100}\right)\right]l$	Połowa amplitudy okresu zimy (t — 3)	Odchylenie od średniej	Średnie odchylenie V (%)
Populus nigra L.	52	12	0,5	4,75	95	84	0,7600	72,20	2,5	2,58	
	57	26	−3	3,59	160	85	0,5485	87,76	6	12,98	
	62	48	−8	2,35	210	84	0,3760	78,96	11	4,18	
	62	90	−14	1,38	225	80	0,2760	62,10	17	12,68	
	58	95	−13	1,51	210	77	0,3473	72,93	16	1,85	
								śr. 74,78		śr. ±6,85	± 9,1
Populus alba L.	51	12	0,5	4,75	95	84	0,7600	72,20	2,5	3,85	
	51	26	−2	3,89	145	85	0,5835	84,61	5	8,55	
	53	49	−8	2,35	180	82	0,4230	76,14	11	0,08	
	56	70	−12	1,65	190	80	0,3300	62,70	15	13,36	
	52	85	−12	1,65	190	73	0,4455	84,64	15	8,58	
								śr. 76,06		śr. ±6,88	± 9,0

Średnia wartość suszącej zdolności powietrza, obliczona dla losowo wybranych pięciu punktów na północnej granicy zasięgu *P. nigra* wyraża się liczbą 74,78, a dla *P. alba* 76,06. Średnie odchylenie od tych wielkości wynosi dla *P. alba* ±9%, a dla *P. nigra* ±9,1% (tab. 9). Odchylenia te można tłumaczyć niedokładnością wykreślenia granicy zasięgu jak i niedokładnością danych meteorologicznych lub ich niereprezentatywnością dla punktu, w którym drogą interpolacji wykreślono przebieg linii klimatycznych.

Do drugiej grupy zaliczono topole o zasięgu całkowicie azjatyckim: *P. suaveolens*, *P. laurifolia*, *P. koreana* i *P. maximowiczii* oraz euroazjatycką *P. tremula* (mapa 5). Dla gatunków tych znajduję zgodność w przebiegu północnej granicy ich zasięgu z wartościami suszącej zdolności powietrza, obliczonej z wzoru:

$$\left[p'\left(1-\frac{c}{100}\right)\right] 1\,|\bar{t}-3|, \qquad (18)$$

gdzie $|\bar{t} - 3|$ jest w przybliżeniu połową amplitudy temperatury okresu spoczynku i może być traktowane jako współczynnik kontynentalizmu klimatu. Obliczony tak wskaźnik suszącej zdolności powietrza w losowo wybranych punktach na północnej granicy zasięgów wymienionych gatunków topoli wynosi średnio: 956 dla *P. tremula*, 1047 dla *P. suaveolens*, 1057 dla *P. laurifolia*, 1098 dla *P. koreana* i 1215 dla *P. maximowiczii*. Średnie odchylenie od tych wartości wynosi: dla *P. tremula* ±5,5%, a dla *P. suaveolens* +7,8%, dla *P. laurifolia* ±4,7%, a dla *P. koreana* tylko ±3,6%; nieco większe natomiast jest dla *P. maximowiczii* i wynosi ±11,8% (tab. 10). Tak jak poprzednio, odchylenia te należy tłumaczyć przede wszystkim niedokładnością nakreślenia granicy zasięgu gatunków, jak i niedokładnością danych meteorologicznych.

Porównując zbliżone do siebie granice zasięgu *P. nigra* i *P. alba* obserwujemy nieznaczną różnicę wartości suszącej zdolności powietrza, trochę tylko mniejszą na północnej granicy zasięgu *P. nigra* (74,78), przesuniętej na północ w stosunku do granicy zasięgu *P. alba*, przebiegającej bardziej południowo i charakteryzującej się nieco większą wartością tej zdolności (76,06). W grupie topoli azjatyckich najmniejszą średnią wartość suszącej zdolności powietrza otrzymano dla *P. tremula*, a następnie *P. suaveolens*, największą natomiast dla *P. maximowiczii* i *P. koreana*, co w zasadzie jest zgodne z ich stopniowym względem siebie ograniczaniem północnego zasięgu, a tym samym przesuwaniem się północnej granicy zasięgu na południe. Miejsce pośrednie pod tym względem zajmuje *P. laurifolia* (mapa 5). Niewątpliwie więc, sugerowana zależność północnej granicy zasięgu od wartości zdolności suszącej powietrza jest widoczna, nawet przy tej stosunkowo niewielkiej ilości punktów, w których wykonano obliczenia.

Tabela 10

Zdolność susząca powietrza na granicy północnego zasięgu rodzaju *Populus*

Evaporational air capacity on the northern boundary of geographical distribution of the genus *Populus*

Gatunek	Szerokość geogr.	Długość geogr.	Średnia temp. zimy $\bar{t}$ (°C)	Prężność pary wodnej p′	Długość okresu zimy l (dni)	Względna wilgotność powietrza c (%)	$p'\left(1-\frac{c}{100}\right)$	$\left[p'\left(1-\frac{c}{100}\right)\right]l$	Połowa amplitudy okresu zimy (t—3)	$(t-3)\left[p'\left(1-\frac{c}{100}\right)\right]l$	Różnica	Średnie odchylenie V (%)
	70	30	— 4	3,30	200	80	0,6600	132,00	7	924	32	3,5
	65	50	— 6	2,79	220	85	0,4185	92,07	9	829	127	15,3
	67	80	—16	1,15	255	83	0,1955	49,85	19	947	9	1,0
Populus	69	100	—19	0,87	260	80	0,1740	45,24	22	995	39	3,9
tremula	68	123	—23	0,59	255	75	0,1475	37,61	26	978	22	2,3
L.	66	124	—24	0,53	245	75	0,1326	32,49	27	877	21	2,4
	60	155	—16	1,15	225	80	0,2300	51,75	19	983	27	2,7
	62	165	—11	1,81	225	78	0,3983	78,66	14	1105	149	13,5
										Śr. 956		Śr. 5,5
	67	110	—21	0,71	250	74	0,1846	46,15	24	1108	46	4,2
Populus	67	120	—23	0,59	250	74	0,1534	38,35	26	996	66	6,6
suave-	67	150	—23	0,59	245	75	0,1475	36,14	26	940	122	12,9
olens	65	160	—21	0,71	245	77	0,1633	40,01	24	960	102	10,6
Fisch.	64	170	—16	1,15	240	78	0,2530	60.72	19	1154	92	8,0
	63	180	—12	1,65	240	81	0.3134	75.22	15	1128	66	5,4
										Śr. 1047		Śr. 7,8

Populus laurifolia Ledeb.	64	83	−14	1,38	225	81	0,2622	58,99	17	1003	54	5,3
	65	85	−17	1,05	240	80	0,2100	50,40	20	1008	49	4,8
	64	88	−15	1,26	235	80	0,2520	59,22	18	1067	10	0,9
	55	100	−13	1,51	207	77	0,3473	71,89	16	1150	93	8,0
										śr. 1057		śr. 4,7
Populus koreana Rehd.	52	140	−14	1,38	215	79	0,2898	62,31	17	1059	39	3,7
	48	140	−10	1,97	200	79	0,4137	82,74	13	1076	22	2,0
	45	128	− 8	2,35	160	72	0,6580	105,28	11	1158	60	5,1
										śr. 1098		śr. 3,6
Populus maximowiczii Henry	46	124	−10	1,97	170	67	0,6501	110,52	13	1437	222	15,3
	52	123	−15	1,26	210	76	0,3024	63,50	18	1143	72	6,3
	51	140	−13	1,51	210	79	0,3172	66,61	16	1066	149	13,8
										śr. 1215		śr. 11,8

6. DYSKUSJA

Różnice wielkości zimowej transpiracji jednorocznych pędów pomiędzy zbadanymi gatunkami w obrębie rodzajów *Populus*, *Viburnum* i *Lonicera* stwierdzone we wszystkich doświadczeniach wykonanych przez autorkę (tab. 1-5, wykresy 1-13), w konfrontacji z przebiegiem północnej granicy zasięgu każdego z tych gatunków (mapa 5 i 6, tab. 6, 7 i 8) potwierdzają słuszność hipotezy Iwanowa (1924) o zależności między północną granicą zasięgu roślin drzewiastych a ich transpiracją zimową. Rodzaje *Populus*, *Lonicera* i *Viburnum* nie są więc pod tym względem wyjątkiem, jak sądził Iwanow, lecz potwierdzają w pełni regułę. I tak, gatunki z rodzaju *Populus* — *P. suaveolens* i *P. tremula*, które sięgają na północ do 72° szer. geogr. pn., wykazały najniższą wartość zimowej transpiracji, gdy tymczasem *P. alba*, *P. maximowiczii* i *P. koreana*, sięgające tylko do 54° szer. geogr. pn., wykazały najwyższą wartość zimowej transpiracji. Miejsce pośrednie pod względem zimowej transpiracji w obrębie zbadanych gatunków z rodzaju *Populus* wykazują *P. nigra* (osiąga 62° szer. geogr. pn.) i *P. laurifolia* (osiąga 65° szer. geogr. pn.). Ilustruje to wykres 14 (str. 50). Analogicznie przedstawia się zależność między północną granicą zasięgu gatunków z rodzaju *Lonicera* (wykres 15) i *Viburnum* (wykres 16) a ich zimową transpiracją (str. 50). Powyższe zależności przedstawiono w postaci wykresów przykładowo na podstawie wartości zimowej transpiracji uzyskanych z pomiarów w jednej z miejscowości, w których prowadzono doświadczenia.

Aczkolwiek tłumaczenie Iwanowa, iż gatunki z rodzajów *Populus*, *Lonicera* i *Viburnum* nie potwierdzają jego teorii na skutek niewłaściwego doboru materiału, jak również z powodu nieprawidłowego ustalenia północnej granicy zasięgu nie są całkowicie bezpodstawne, to jednak dziś można już tłumaczyć to z całą pewnością błędnym pomiarem zimowej transpiracji względnej, Iwanow bowiem nie uwzględnił grubości pędów w swych pomiarach. Na ten metodyczny brak w jego doświadczeniach zwrócił uwagę Czarnowski. Uzasadnia to zmodyfikowanie metody Iwanowa w doświadczeniach autorki niniejszej pracy.

Jak już wykazano we wstępnych doświadczeniach, grubość pędu jest w pomiarach zimowej transpiracji czynnikiem istotnym (tab. 1 wykresy na ryc. 1). Podkreślić jednak trzeba, iż większość gatunków roślin drzewiastych wykazuje między sobą stosunkowo duże różnice w bezwzględnej wartości transpiracji zimowej, co pozwoliło wielu dotychczasowym autorom stosować z powodzeniem metodę Iwanowa bez uwzględnienia w pomiarach zimowej transpiracji grubości pędu, między innymi Gordiaginowi, Popławskiej i Girnikowi. Metodę Iwanowa pozytywnie ocenił również polski ekolog Szymkiewicz (1932).

Niewątpliwie wyraźne różnice pod względem wielkości transpiracji zi-

mowej, stwierdzone między gatunkami z rodzajów *Populus*, *Lonicera* i *Viburnum*, należy odnieść do różnej budowy anatomicznej ich pędów, co tłumaczy wzór Fransilli (7), w którym współczynniki a_1, b_e i γ odnoszą się do faktury powierzchni substratu parującego.

Analiza elementów klimatycznych okresu zimowego dla obszaru Eurazji, a więc dla terytorium obejmującego zasięgi zbadanych gatunków z rodzajów *Populus*, *Lonicera* i *Viburnum* (mapa 1, 2, 3 i 4) oraz konfrontacja izolinii tych elementów z przebiegiem północnej granicy zasięgu poszczególnych gatunków (mapa 5 i 6) wykazała brak identycznej zgodności między przebiegiem izolinii poszczególnych elementów klimatycznych a północną granicą zasięgu poszczególnych gatunków, zwłaszcza gdy rozważymy cały przebieg północnej granicy. Zrozumiałe jest to, jeśli się zważy fakt, iż elementy klimatyczne stanowią czynnik ekologiczny kompleksowo działający na rośliny. W odniesieniu do rozważań północnej granicy zasięgu należy przykładowo wspomnieć, iż skrajna niska temperatura jako czynnik ograniczający nie decyduje o przebiegu północnej granicy zasięgu limby czy modrzewia, które — jak podaje Szafer (1964) — mają swe stanowiska w okolicach Ojmiakonu, a więc na terenie bieguna zimna półkuli północnej. Z analizy klimatycznej wynika, iż okolice Ojmiakonu wyróżniają się na północy względną ciszą; średnia prędkość wiatrów nie przekracza tu 2 m/sek (mapa 4).

Największą zbieżność przebiegu północnej granicy zasięgu zbadanych gatunków z rozkładem poszczególnych elementów klimatycznych wykazuje rozkład średnich prędkości wiatru. Wiatr wydaje się mieć istotne znaczenie w kształtowaniu się północnej granicy zasięgu wówczas, gdy współdziałają z nim niskie temperatury, w odpowiednim zakresie dla różnych gatunków. A zatem teza Kihlmana, iż wiatry o szybkości ponad 6 m/sek wykreślają północną granicę drzew, jest częściowo tylko słuszna. Rzecz oczywista, działanie wiatru nie może być traktowane w oderwaniu od innych elementów klimatycznych i z tego powodu zarówno *Populus tremula*, jak i *Lonicera caerulea* pokrywają swym zasięgiem Kamczatkę, gdzie pomimo prędkości wiatru przekraczającej podany przez Kihlmana próg, gatunki te znajdują dogodne warunki bytowania (mapy 4, 5 i 6).

Za przyjęciem tezy o wpływie wiatrów zimowych na kształtowanie się północnej granicy zasięgu drzew przemawia ponadto fakt, iż świerk, jak wiadomo, tworzy górną granicę drzew, a objawiając tam często formy sztandarowe, wytwarza nowe pędy w środku lata, a nie na wiosnę. Wynika z tego wyraźnie, że szkodliwość łącznego działania niskich temperatur i wiatru następuje w zimie. Za tezą tą przemawia również fakt braku uszkodzeń mrozowych tych części koron świerka, które w zimie są przykryte śniegiem (Geiger 1942).

W świetle tego, teza Grodkowa (cyt. wg Berga 1962) wydaje się problematyczna. Grodkow tłumaczy ginięcie drzew na północy ich

letnim parowaniem, kiedy do pędów z silnie oziębionej ziemi przedostaje się mało wody. Uważa natomiast, że zimowe mrozy nie mają większego znaczenia dla roślin egzystujących na północnej granicy lasów. Autor ten mówi jednak o mrozach w oderwaniu od działania wiatrów.

Kompleksowe działanie analizowanych w niniejszej pracy czynników klimatycznych w kształtowaniu północnej granicy zasięgów drzew sugeruje możliwość ewentualnego scalenia ich wszystkich na obszarze obejmującym zasięgi badanych gatunków i wyznaczenia izogradientów klimatycznych podobnie jak to uczynił Romer (1948) dla wyznaczenia regionów klimatycznych Polski różnego rzędu. Konstrukcja takiej mapy umożliwiałaby bliższe poznanie istoty współdziałania poszczególnych elementów klimatycznych w ukształtowaniu przebiegu naturalnych granic zasięgów roślin (nie tylko północnych). Gdy się zważy rozmiar obszaru występowania badanych gatunków i szczupłość danych klimatycznych, jakie z trudem uzyskano z 290 stacji, opracowanie klimatycznych izogradientów było wręcz niemożliwe.

Wyrazem współdziałania elementów klimatycznych w uwarunkowaniu transpiracji zimowej drzew może być susząca zdolność powietrza, będąca funkcją niedosytu wilgotności powietrza i długości okresu zimy (wzór (17)). Zdolność ta według opinii znawców przedmiotu (Szymkiewicz 1932; Schmuck 1949, 1959; Bodrow 1950) jest funkcją prędkości wiatru. W użytym w niniejszych badaniach wskaźniku suszącej zdolności powietrza autorka pominęła jednak ten element z następującego powodu. Studia ekologiczne wskazują, że wpływ prędkości wiatru na łączne parowanie szaty roślinnej i gleby wyraża się wzorem

$$E = c_t + b_t v \tag{19}$$

gdzie:

E — parowanie,

v — prędkość wiatru,

c_t, b_t — stałe dla typu zbiorowiska roślinnego (i parametrów gleby atmosfery).

Ponieważ, jak twierdzi Bodrow i Szymkiewicz, wartość c_t jest znaczna w porównaniu z wartością b_t, wpływ prędkości wiatru na parowanie jest drugorzędny w porównaniu ze znaczeniem innych czynników, zwłaszcza niedosytu wilgotności powietrza. Ponadto wpływ wiatru znajduje swój wyraz w notowaniu zwilżonego termometru w psychrometrze Augusta w budce meteorologicznej. Na tę okoliczność zwraca uwagę Iwanow (1954). Badania Zworkina (cyt. wg Golcmana 1950) wykazały, że stała psychrometryczna wynosi

$$A = A_{(v \to \infty)} 1 + \frac{a}{v^{0,15}}$$

gdzie:

$A_{(v \to \infty)}$ — wartość stałej psychrometrycznej w określonej temperatu-

rze zwilżonego termometru i nieskończenie wielkiej szybkości wiatru,

a — stała instrumentu,

v — prędkość wiatru przy zbiorniczku zwilżonego termometru.

Ponadto badania wykazały, że dopiero od prędkości wiatru 2 m/sek wewnątrz budki (to znaczy, gdy na zewnątrz prędkość wynosi około 6 m/sek) prędkość wiatru przestaje mieć istotny wpływ na wskazania przyrządu. Niezwykle drobiazgowe badania Szczerbakowej (cyt. wg Golcmana, 1950) wykazały bowiem, że w budce meteorologicznej prędkość wiatru zmniejsza się w przybliżeniu trzykrotnie w porównaniu z prędkością wiatru poza nią. Biorąc to pod uwagę można przyjąć, że wpływ prędkości wiatru na parowanie w dużej mierze jest zanotowany we wskazaniach psychrometrycznych sieci stacji meteorologicznych.

Fakty te potwierdzają więc z jednej strony słuszność poglądu o suszącym działaniu wiatru w okresie spoczynku zimowego roślin, z drugiej słuszność tezy, że wskazania psychometru Augusta w budce meteorologicznej rejestrują wpływ wiatru, zwłaszcza gdy idzie o jego prędkość do 6 m/sek.

W rozważaniach dotyczących związku przebiegu północnej granicy zasięgu badanych gatunków drzew z ich zimową transpiracją nie sposób było pominąć zagadnienia kontynentalizmu klimatu, który manifestuje się w obszarze obejmującym zasięgi zbadanych gatunków. Wyrazem kontynentalizmu klimatu jest amplituda temperatur, zarówno roczna, jak i okresu zimowego. Na przykład, na linii północnego zasięgu *Populus tremula* występują następujące wartości amplitudy temperatur:

Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Amplituda temperatury	
		roczna	połowa amplitudy $\bar{t}$-3 okresu zimowego
66°	124°	56	27
60°	155°	40	19
62°	165°	36	14

Analogiczne wartości dla *Populus suaveolens* układają się następująco:

Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Amplituda temperatury	
		roczna	połowa amplitudy $\bar{t}$-3 okresu zimowego
67°	120°	54	26
65°	160°	48	24
63°	180°	28	15

Z powyższych zestawień wynika, że wprowadzenie czynnika amplitudy temperatury okresu spoczynku roślin do wskaźnika suszącej zdolności powietrza, która działa ograniczająco na północną granicę zasięgu roślin drzewiastych, jest uzasadnione.

Według badań Papadakisa (1966) miesięczne parowanie w warunkach naturalnych można wyrazić wzorem

$$E \sim (P_{max} - P_{min})$$

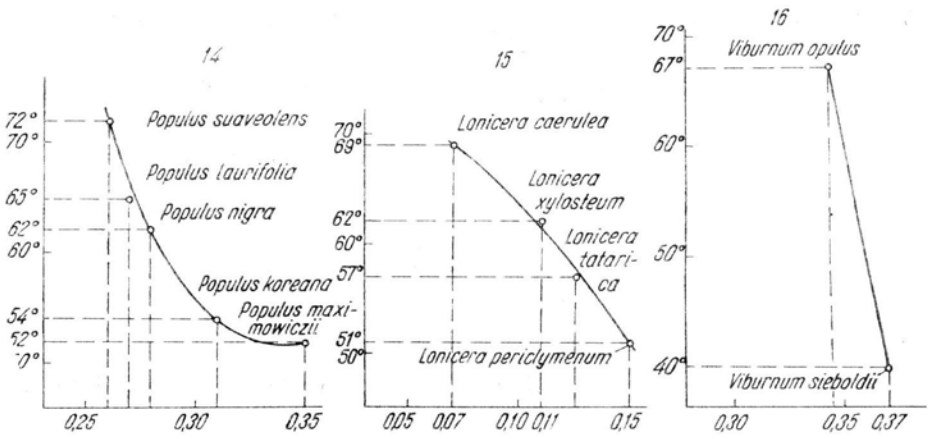
gdzie:

E — parowanie miesięczne, $\sim$ — znak proporcjonalności prostej

P_{max} — prężność nasyconej pary wodnej dla maksymalnej średniej dobowej temperatury powietrza,

P_{min} — prężność nasyconej pary wodnej dla minimalnej średniej dobowej temperatury powietrza.

W świetle tej zależności miesięczne parowanie jest proporcjonalne do średniej dobowej amplitudy temperatur. Natomiast sezonowa amplituda, np. okresu zimowego, pozostaje w pewnym stosunku do średniej amplitudy temperatur każdego okresu zawartego w sezonie, gdyż obie te amplitudy są funkcją kontynentalizmu klimatu. Z tego wniosek, że parowanie, a co z tego wynika i zdolność susząca powietrza są funkcją kontynentalizmu klimatu. Zastosowanie więc amplitudy temperatur okresu spoczynkowego roślin jako najprostszego wskaźnika kontynentalizmu klimatu w tym okresie znajduje swoje uzasadnienie. Amplituda temperatur ma znaczenie w wyjaśnieniu północnej granicy zasięgu tyl-



Ryc. 14-16. Zależność między północną granicą zasięgu zbadanych gatunków: *Populus* (Sękocin), *Lonicera* (Warszawa) i *Viburnum* (Wrocław) a zimową transpiracją ich jednorocznych pędów

Oś Y — szerokość geograficzna: oś X — transpiracja

Figs. 14-16. Interdependence between the northern boundary of geographical distribution of the investigated species of *Populus* (Sękocin), *Lonicera* (Warsaw) and *Viburnum* (Wrocław) and the winter transpiration of their one-year-old shoots

Y axis — geographical latitude; X axis — transpiration

ko azjatyckich gatunków topoli i eurazjatyckiej *Populus tremula*; nie wyjaśnia natomiast północnej granicy zasięgów eurazjatyckich gatunków topoli: *P. alba* i *P. nigra*. Wskazywałoby to na specyficzne właściwości ekologiczne tych dwóch gatunków.

Przegląd mapy zasięgów gatunków rodzaju *Populus* wskazuje, że tylko *P. tremula* sięga od Atlantyku do Pacyfiku, natomiast pozostałe gatunki rozciągają się od każdego z tych oceanów w głąb kontynentu (z tym, że w głębi kontynentu leży zasięg *P. laurifolia*), a między nimi istnieje dysjunkcja ciągnąca się wzdłuż południka 100°. Ponadto zwraca uwagę fakt, że *P. laurifolia*, której zasięg leży na zachód od południka 100° i *P. koreana*, której zasięg leży nad Pacyfikiem u swej północnej granicy znajdują się w zimie w bardzo podobnych warunkach pod względem suszy atmosferycznej, a pomimo tego mają odległe od siebie zasięgi. Z faktów tych można wyciągnąć wniosek, że o zasięgu gatunku nie decyduje wyłącznie jego zdolność do transpiracji zimowej, ale i inne specyficzne właściwości ekologiczne, które dają o sobie znać w okresie wegetacyjnym. Z tego też powodu rozbieżności między wartościami wskaźnika suchości zimowej na linii północnego zasięgu nie mogą być rzeczą niespodziewaną, nawet przy przyjęciu niedokładności linii północnego zasięgu jak i niedokładności danych meteorologicznych. Jednakże fakt, że zimowa zdolność transpiracyjna drzew nie tłumaczy całego zasięgu, nie podważa tezy, iż północny zasięg gatunków z rodzaju *Populus* kształtuje się w dużej mierze w zależności od suszącego działania powietrza w okresie spoczynku zimowego.

7. WNIOSKI

1) Zimowa zdolność transpiracji roślin drzewiastych jest ekologiczną cechą charakterystyczną dla każdego gatunku.

2) W obrębie rodzajów *Populus*, *Lonicera* i *Viburnum* zimowa transpiracja gatunków jest tym mniejsza, im dalej od równika przebiega północna granica ich zasięgu; rodzaje te nie stanowią więc wyjątku w hipotezie I w a n o w a, którą należy uznać za ogólną zasadę ekologiczną.

3) Gatunki z rodzajów *Populus*, *Lonicera* i *Viburnum* układają się według wzrastającej wartości transpiracji zimowej w następujące szeregi odpowiadające stopniowemu przesuwaniu się ich północnej granicy zasięgu z północy na południe (mapa 5 i 6):

P. suaveolens	*L. caerulea*	*V. opulus*
P. tremula	*L. xylosteum*	*V. lantana*
P. laurifolia	*L. tatarica*	*V. rhytidophyllum*
P. nigra	*L. periclymenum*	*V. sieboldii*
P. koreana	*L. maackii*	*V. tomentosum*
P. maximowiczii	*L. caprifolium*	
P. alba		

4) Zdolność pędu do utraty wody w okresie zimowego spoczynku roślin drzewiastych jest funkcją grubości pędu i może być przeliczana na jednostkę powierzchni pędu lub na jednostkę masy pędu. W obu przypadkach zależność utraty wody od grubości pędu znajduje swój wyraz w proporcjach matematycznych z tym, że przy przeliczaniu utraty wody na jednostkę powierzchni pędu występuje zależność proporcjonalna, natomiast przy przeliczaniu ubytku wody na jednostkę masy pędu występuje zależność odwrotnie proporcjonalna. Wynika stąd że:

a) przeliczenie ubytku wody pędów na jednostkę masy daje mniejszy błąd niż przeliczenie na jednostkę powierzchni,

b) porównanie zimowej transpiracji pędów różnych gatunków roślin dopuszczalne jest jedynie przy tej samej grubości pędów.

5) Studia klimatologiczne — obejmujące takie elementy klimatyczne obszaru Eurazji, jak: długość okresu zimy, temperatura, wilgotność względna powietrza i wiatr dla okresu zimowego ograniczonego progiem +3°C (mapa 1, 2, 3, 4) — wykazują w pewnym tylko zakresie zbieżność między przebiegiem izolinii tych poszczególnych elementów klimatycznych a północną granicą zasięgów niektórych spośród badanych gatunków z rodzajów *Populus*, *Lonicera* i *Viburnum*, w żadnym jednak przypadku nie na całej granicy zasięgu.

6) W kształtowaniu się północnej granicy zasięgu zbadanych gatunków spośród zanalizowanych elementów klimatu najdobitniej zaznacza się współdziałanie wiatru i temperatury okresu zimowego (najwyraźniej u *Populus suaveolens* i *Lonicera xylosteum*).

7) Kompleksowe działanie elementów klimatycznych na kształtowanie się północnej granicy zasięgu roślin drzewiastych znajduje swój wyraz w wielkości wskaźnika zdolności suszącej powietrza, która warunkuje zimową transpirację roślin.

Wskaźnik zdolności suszącej powietrza okresu zimowego dla europejskich gatunków z rodzaju *Populus* znajduje swój wyraz we wzorze (17).

Analogiczny wskaźnik dla gatunków azjatyckich z rodzaju *Populus* określa wzór (18), który uwzględnia współczynnik kontynentalizmu klimatu. (Wzory i ich objaśnienia na str. 18, 43).

8) Wartość wskaźnika zdolności suszącej powietrza jest tym mniejsza, im dalej na północy dany gatunek osiąga kres swego występowania. Z wartości tego wskaźnika na północnej granicy zasięgu określonych gatunków roślin drzewiastych można wnioskować o ich zdolności zimowej transpiracji.

Instytut Botaniki
Uniwersytetu im. B. Bieruta
we Wrocławiu

SUMMARY

1. Aim of the work. The dependence of the northern boundary of geographical distribution of woody plants on their transpiration has hitherto not been sufficiently investigated. According to Ivanov's hypothesis (1924) southern species of woody plants are characterized by more intensive winter transpiration of shoots than northern species, even within the same genus. The amount of winter transpiration may thus be considered as one of the species characters in plants expressing their adaptation to climatic conditions of the north. An exception to the rule, according to Ivanov, are the genera *Populus, Viburnum,* and *Lonicera* in which he was not able to find a correlation between the northern boundary of geographical distribution and the intensity of winter transpiration of particular species. This fact arounded criticism and caused the necessity of checking the correctness of the above statement especially as methodical errors in Ivanov's work have been pointed out in respect to measurement of winter transpiration (Czarnowski 1951). This was the aim of the present work.

2. Material and methods of investigations. The basis of the author's investigations were measurements of winter transpiration of species of trees and shrubs from the genera *Populus, Viburnum* and *Lonicera* growing wild in Poland or in botanical gardens and arboreta and the analysis of climatical conditions of the period of winter rest of plants in the area of Eurasia. The extent of winter transpiration of shoots of particular species together with maps of their range of occurrence enabled the author to express her opinion in respect to Ivanov's hypothesis. The knowledge of climatic conditions in the period of winter rest in plants was the basis of quantitative expression of the influence of climate on the formation of the northern boundary of geographical distribution woody plants.

Field experiments were performed in winter 1969-1970 and 1970-1971 in 5 places: Wrocław, Warsaw, Rogów, Sękocin and Kórnik.

Transpiration of one-year-old shoots of trees and shrubs growing in local arboreta or botanical gardens were measured. 18 species which fulfilled the following conditions were investigated: similar age of plants, similar habitats, and definite differentiation of the course of the northern boundary of geographical distribution within each genus. The extent of transpiration was determined by the method of Ivanov taking as a basis the loss of water expressed as the loss of weight of cut shoots. This method was modified in the present work.

In a preliminary experiment the effect of shoot thickness on the extent of evaporation in species representing the three investigated genera and in *Larix decidua* Mill., which is the model species of Ivanov's method, was examined. The ability of the shoot to lose water in the period of winter rest was found to depend on its thickness. The losses calculated per unit of surface area of the shoot are to some

extent proportional to its thickness and calculated per unit mass are inversely proportional (Tables 3, 4, 5 and Fig. 3). This indicates that: 1) calculating the loss of water per unit of shoot mass gives a lower percent of deviation than theoretically calculated values which may be considered as having a lower percent of error, 2) the comparison of winter transpiration of shoots of various species is only admissible when the shoots are of the same thickness. Because of significant differences in the thickness of shoots of the investigated species of trees and shrubs relative transpiration on which Ivanov's results were based was not determined but a comparative analysis on the basis of absolute values of winter transpiration obtained in caeteris paribus for particular species, was performed. Thereby, the present author gave up using *Larix decidua* Mill. as the model species of Ivanov's method.

The basic investigations were performed on 10-20 cm long shoot segments cut off from one-year-old shoots. The place of cutting of the segment was covered with quick-drying varnish. The segments were then weighed hung up in an airy place protected from direct action of the sun and atmospheric precipitation. After 4 days the segments were again weighed and the decrease in mass was calculated per unit mass of each shoot. Segments of each species were placed in series according to 3 classes of thickness and each class was represented by 10 segments. The experiment was performed 3 times in winter (I-III). The results were elaborated statistically and are presented in tables (Tables 3, 4, 5) and diagrams (Fig. 3).

In order to compare the extent of winter transpiration of species of investigated plants with the course of the northern boundary of their geographical distribution maps of the range of occurrence of these species were made on the basis of literature (Maps 5, 6). A short ecological and geografphical characterization of the investigated species was elaborated on the same basis including their distribution and habitats, the northern and upper boundary of geographical distribution and also characters important in the measurement of winter transpiration such as maximal plant height and morphological characterization of shoots, and their resistance to frost (Tables 6, 7, 8).

Ecological considerations on the northern boundary of geographical distribution of species represented by the investigated trees and shrubs required the preparation of original maps presenting the climatic conditions of the period of winter rest in the area of Eurasia, where the above species have their natural boundaries of geographical distribution. In climatical studies the most important factors in the period of winter rest such as length of the winter, mean temperature and relative humidity of air, and wind velocity were taken into consideration. Climatic studies were based on the available data from 290 meteorological stations. The study included the period 1951-1960 with computation of mean monthly values. A macroscale was applied, omitting microclimatic deviations as they have no decisive role on the range of plant distribution within a continent. Mountain areas were also eliminated as vertical climatic changes are a separate problem. All values were calculated on the real level.

The period of winter rest of plants was determined by the graphic method (Molga 1967) taking after Lundegard (Szymkiewicz 1932) the spring and autumn passage of temperature throught 3°C as its limits. The map of the length of the rest period in plants was drawn with 25 day interval (Map 1). The course of isotherms of the period of winter rest of plants was drawn every 1°C applying interpolation. The basis for this were the calculations of the mean temperature of this period (Map 2). The characterization of the humidity of the air was based on the values of relative humidity expressed in percent every 10% (Map 3). The velocity of the wind is given in m/sec, using 4 grade scale (Map 4).

In order to grasp the complex effects of climatic factors on winter transpiration and the course of the northern boundary of geographical distribution in the investigated plant species the index of evaporational capacity of air in the winter period was determined. This value was taken as the product of humidity deficit of air and the length of the rest period in plants. The calculations of the value of evaporational capacity of air were performed in randomly chosen points of the northern boundary of geographical distribution of all examined species of the poplar (Tables 9 and 10).

The results of winter transpiration of shoots calculated statistically have on the average a ±3% deviation from theoretical values calculated by a computer. Graphically presented data enable a comparison of the dimension of transpiration in particular species within each genus, separately for each locality, to be made (Fig. 3).

3. Results. The results obtained indicate that in the genera *Populus*, *Viburnum* and *Lonicera* the winter transpiration of shoots is the smaller the farther from the equator is the northern boundary of geographical distribution of the species from these genera. The species investigated by the author form the following series in respect to increasing value of winter transpiration corresponding to the gradual paasage of their northern boundary of geographical distribution to the south (Fig. 4).

Populus suaveolens Fisch.	*Lonicera caerulea* L.	*Viburnum opulus* L.
P. tremula L.	*L. xylosteum* L.	*V. lantana* L.
P. laurifolia Ledeb.	*L. tatarica* L.	*V. rhytidophyllum* Hens
P. koreana Rehd.	*L. periclymenum* L.	*V. sieboldii* Miq.
P. maximowiczii Henry	*L. maackii* Maxim.	*V. tomentosum* Thunb.
P. alba L.	*L. caprifolium* L.	

The three genera investigated thus are no exception to I v a n o v's rule which may be considered as a general ecological principle. The winter transpiration capacity of woody plants may thus be considered as an ecological character of each species.

Climatological studies of the area of Eurasia have indicated only to a certain degree the interdependence between the course of isolines of particular climatic elements and the northern boundary of geographical distribution of some of the investigated species, in no case, however, in the whole range of distribution. The joint action of wind and temperature during the winter period can be observed on the formation of the northern boundary of the investigated species (this is the most distinct in *Populus suaveolens* and *Lonicera xylosteum*).

The effect of climatic factors on the formation of the northern boundary of geographical distribution is complex. It has been demonstrated that the index of evaporational capacity of the air which conditions winter transpiration of plants may be an expression of the complex action of climate. This index for species of the genus *Populus* is expressed by the formula:

$$p'\left(1 - \frac{c}{100}\right)l$$

where p′ — pressure of saturated water vapor at temperature t in mm Hg; c — air humidity in %; l — length of winter rest of plants limited by the temperature +3°C expressed in days. An analogical index for Asiatic species of the genus *Populus* is expressed as

$$p'\left(1 - \frac{e}{100}\right)l(t - 3)$$

where (t−3) denotes coefficient of continentalism of climate.

The value of the evaporational capacity of the air was found to be the smaller the farther north a given species can be found. From the value of this index for the northern boundary of geographical distribution of woody-plant species one may draw conclusions as to their winter transpiration. The proposed index of evaporational capacity of the air allows a complex treatment of the wintering conditions investigated species of woody plants.

LITERATURA

Alisow B. P., 1950, Klimaticeskije obłasti zarubieżnych stran. Gosudarstwinnoe Izdat. Geograf. Literatury, Moskwa, s. 351.

Alisow B. P., Berlin J. A. i Michel W. M., 1954, Kurs klimatołogii. III. Klimat ziemnogo szara. Gidromietieoizdat, Leningrad, s. 320.

Annual Meteorologic, 1951-1960. Inst. Meteorologic, Bucuresti.

Annales de l'Institut Météorologique Hongrois, 1951-1960, Budapest.

Atlas Klimatyczny Polski, 1971, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, s. 178.

Awerkiew M. S., 1951, Mjetjeorołogija. Izdat. Moskowskogo Uniwiersitieta, Moskwa, s. 384+VII tab.

Baltic Pilot, 1951, Vol. III, Fourth Ed. Publ. by the Hydrogr. Dept. Admiral., London.
1953, Vol. II Eight Ed. Publ. by the Hydrogr. Dept. Admiral., London.
1959, Vol. I (S.D. No 19) Eight Ed. Publ. by the Hydrogr. Dept. Admiral., London.

Bärner J., 1942, Die Nutzhölzer der Welt. Neudamm, s. 1196.

Berg L. S., 1962, Przyroda ZSRR. PWN, Warszawa, s. 483.

Białobok S. i Hellwig Z., 1955, Drzewoznawstwo. PWRiL, Warszawa, s. 797.

Bodrow V. A., 1950, Lesnowodstwiennyj mietod borby s zasuchoj. Goslesbumizdat, Leningrad, s. 99.

Browicz K., 1952, Pnącza w Arboretum Kórnickim. Prace Zakładu Dendrologii w Kórniku, s. 3-41.

Budyko M. L., Drozdow O. A., Lvovicz M. S., Pogosjan Ch. P., 1952, Izmienieniie klimata w swjazi s planom prieobrazowanija prirody zasuszliwych rajonow SSSR. Gidromietieo. Izdat., Leningrad, s. 206.

Bugała W., 1967, Systematyka eurazjatyckich topoli z grupy *Populus nigra* L., Arboretum Kórnickie, XII, s. 45-219.

Bulletin Mensuel Apercu Climatologique, 1951-1960, Inst. Royal. Meteorol. de Belgique, Uccle.

Bulletin Mensuel de l'Institut Météorologique Central de Bulgaria, 1951, Sofia.

Burgerstein A., 1904, Die Transpiration der Pflanzen. Gustav Fischer, Jena, s. 283.

Burgerstein A., 1920, Die Transpiration der Pflanzen. Gustav Fischer, Jena, II Aufl., s. 264.

Burgerstein A., 1925, Die Transpiration der Pflanzen. Gustav Fischer, Jena, III Aufl. s. 63.

Climatological Normals (Clino) for climate and climate shiostations, 1962, For the period 1931-1960, Geneva — Switzerland.

Crafts A. S., Currier H. B. and Stocking C. R., 1949, Water in the physiology of plants. Waltham, Mass, s. 388.

Czarnowski M. S., 1951, Przyczynek do znajomości zimowej zdolności transpiracyjnej niektórych topoli. Sylwan. 3-4: 338-343.

Czarnowski M. S., 1964, Productive capacity of locality as a function of soil and climate with particular reference to forest land. Baton Rouge, La, s. 195.

Czelpanowa O. M., 1963, Klimat SSSR. 3. Sredniaja Azija. Gidromieoizdat, Leningrad, s. 447.

Czudnowskij A. F., 1948, Fizika tieploobmiena poczvie Moskwa — Leningrad, s. 220.

Daniłow M. D., 1948, O zimniej transpiracii odnoletnich pobiegow raznowozrastnych dieriewiew barchata amurskogo. Priroda. 5: 44-45.

Deutsches Meteorologisches Jahrbuch Bundesrepublik, 1951-1960, Deutscher Wetterdients, Offenbach a.M.

Deutsches Meteorologisches Jahrbuch, 1951-1960, Akademie-Verlag, Berlin.

Fiziko-Gieograficzeskij Atlas Mira, 1964, Akad. Nauk. SSSR, Moskwa, s. 298.

Geiger R., 1942, Das Klima der bodennahen Luftschicht, Die Wissenschaft, Herausgeber Prof. Dr Wilhelm Westphal, Band 78, Friedr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig, s. 435.

Girnik D. W., 1955, Wodnyj rezim drieviesnych porod zimoj i zimniaja zasucha. Trudy Instituta Lesa AN SSSR. 27: 129-147.

Golcman M. J., 1950, Osnowy mietodyki aerofiziczeskich izmierienij. Moskwa — Leningrad, s. 360.

Gordiagin A. J., 1925, K woprosu zimnem isparienii niekotorych driewiesnych porod. Tr. Kazansk. Ob-wa Jestiestwoispyt. T. 50, wyp. V.

Gordiagin A. J., 1929, Über die winterliche Transpiration einiger Holzgewächse Ostrusslands. Beihefte z. Bot. Zentrbl. Alt. I. 46.

Hegi G., 1957, Illustrierte Flora von Mittel-Europa. III/1, München, s. 24-44.

Hegi G., 1962, Illustrierte Flora von Mittel-Europa. VI/1, München, s. 242-259.

Hultèn E., 1950, Atlas över växternes utbredning i Norden, Stockholm, s. 511.

Iwanow L. A., 1924, Über die Transpiration der Holzgewächse im Winter (I, II). Berichte d. Deutschen Botan. Ges., Bd. XVIII, Heft 2, s. 40-48, 210-218.

Iwanow L. A., 1925, O wodnom reżimie driewiesnych porod zimoju. Izw. Lesn. Instituta, wyp. 32, s. 36.

Iwanow L. A., 1946, Swiet i właga v żyzni naszych drieviesnych porod. Timirjazievskoie ćtieniie, wyp. V.

Iwanow N. N., 1954, Ob. opriedielienii wielicziny ispariajemosti. Izwiestija Vsiesojuzn. Geograf. Obszcz. Tom 86, wyp. 2.

Jahrbücher der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 1951-1960. Zentr. f. Met. u. Geol., Wien.

Kajetanowicz Z., 1964, Zarys Meteorologii, PWN, Warszawa — Kraków, s. 58.

Klukin N. K., 1960, Klimaticzeskij oczerk Siewiero-Wostoka SSSR, Gidromietieoizdat, Moskwa, s. 118.

Koch K., 1872, Dendrologie, Bäume, Sträucher und Halbsträucher. T. II, Erlangen, s. 665 (5-69).

Krüssman G., 1960, Handbuch der Laubgehölze. T. I, II. Berlin, s. 66-90, 226-239, 549-562.

Mediterranean Pilot, 1951-1960. London.

Měsični Přehled Meteirikigických Pozorováni, 1960. Praha — Karlov.

Meteorological Yearbook of Finland, 1951-1960. Climatological Data, Helsinki.

Meteoroloski Godisnjak I, 1951-1960. Beograd.

Meusel (Jäger) Weinert, 1965, Vergleichende Chorologie der Zentraleuropäischen Flora. Jena, s. 112 d.

Molga M., 1967, Rozważania agrometeorologiczne o początku okresu wegetacyjnego w Polsce. Prz. Geogr. 12 (20), (3-4): 175-195.
North Sea Pilot. London.
Obrazcowa V. I., 1956, Fizjołogija rastienij. T. 3, wyp. 5.
Olikier V. S., 1965, Transpiracja odnoletnich pobiegow driewiesnych rastienij w osiennie-zimnie-wiesiennij pieriod. Ekołogija driewiesnych rastienij. Nauka i Technika, Mińsk, s. 134
Paczoski J., 1933, Podstawowe zagadnienia geografii roślin. Wyd. PTB, t. III, Poznań, s. 266.
Papadakis J., 1966, Climates of the world and their agricultural potentialities. Buenos Aires, s. 170+4.
Penman H. L., 1963, Vegetation and hydrology. Farnham Royal. Bucks, England.
Perring F. H., Walters S. M., 1962, Atlas of the British Flora. Botanical Society of the British Isles.
Popławska G. J., 1948, Ekołogija rastienij. Sowietskaja Nauka. Moskwa, s. 295.
Raunkiaer C., 1908, Statistik der Lebensformen als Grundlage für die biologische Pflanzengeographie. Beih. z. Bot. Zentrbl. 2 (27): 171-206.
Rehder A., 1954, Manual of cultivated trees and shrubs. New York.
Ročenka Povetrnostnich Pozorování Meteorologických Stanic Republiky Československe, 1951-1960. Hydrometeorologický ustav, Praha.
Romer E., 1948, Izogradienty klimatyczne, Sprawozdanie PAU, 48, nr 4, Kraków.
Schmuck A., 1949, O parowaniu potencjalnym. Prace Wrocł. Tow. Naukowego. 25: 52, Wrocław.
Schmuck A., 1959, Zarys klimatologii Polski. PWN, Warszawa, s. 160.
Schneider C. K., 1906, Illustriertes Handbuch der Laubholzkunde. Jena, s. 2-21, 639-667, 681-745.
Sklarow V. M., 1968, Weter w pogranicznom słoje atmosfiery nad terytorium SSSR. Nauczno-issledow. Institut Aeroklimatołogii, Moskwa, s. 476.
Sokołow S. J., 1951, Dieriewja i kustarniki SSSR. T. II, AN SSSR, Moskwa — Leningrad, s. 174-217.
Sokołow S. J., 1962, Dieriewja i kustarniki SSSR. T. VI, AN SSSR, Moskwa — Leningrad, s. 158-193, 211-297.
Sokołowski M., 1928, O górnej granicy lasu w Tatrach. Wyd. Fundacji „Zakłady Kórnickie", Kraków, s. 185.
Strebeyko P., 1956, Woda i światło w życiu rośliny. PWRiL, Warszawa.
Strebeyko P., 1966, Gospodarka wodna rośliny. PWRiL, Warszawa, s. 132.
Szafer W., 1964, Ogólna geografia roślin, PWN, Warszawa, s. 375.
Szafer W., Kulczyński S., Pawłowski B., 1967, Rośliny Polskie, PWN, Warszawa, s. 60-62, 223-225.
Szczerbakowa E. J., 1961, Klimat SSSR, Wypusk 5, Wostocznaja Sibir. Gidromietieoizdat, Leningrad, s. 300.
Szymkiewicz D., 1932a, Ekologia roślin, Lwów, s. 709.
Szymkiewicz D., 1932b, Badania ekologiczne, Kosmos, Seria A. 57 (1-4): 1-24, Lwów.
Szymkiewicz D., 1937, Szkice z geografii roślin. Kosmos, Seria B, 62 (3): 212-221 Lwów.
Witwicki G. N., 1960, Klimat zarubieżnoj Azii. Moskwa.
Walter H., 1927, Einführung in die allgemeine Pflanzengeographie Deutschlands. Gustav Fischer, Jena, s. 458.
Walter H., Lieth H., 1964, Klimadiagramm Weltatlas. Gustav Fischer Verlag, Jena, k. nlb.