

ZNACZENIE BADAŃ FENOLOGICZNYCH W KLIMATOLOGII I AGROMETEOROLOGII

Marian Molga

Badania fenologiczne, jako jeden z instrumentów określania środowiska, stosowane są w wielu naukach przyrodniczych i szeroko wykorzystywane w praktyce. Obok botaników i zoologów, dla których rozwój rośliny, czy życie zwierzęcia leżą w zakresie uprawianych przez nich nauk, fenologią zajmują się ekolodzy — przy badaniu wzajemnych oddziaływań pomiędzy organizmami żywymi i ich otoczeniem, geografowie — przy badaniach środowisk geograficznych oraz różnic między nimi, leśnicy — przy określaniu bonitacji siedlisk leśnych, uzyskiwaniu wskazówek hodowlano-pielęgnacyjnych, czy materiałów do prac z zakresu ochrony lasu, rolnicy — przy planowaniu prac polowych, ustalaniu agrotechniki i innych zabiegów rolniczych. Badania fenologiczne są bardzo przydatne dla fitopatologów i entomologów; obserwacje fenologiczne są wykorzystywane przez hydrologów przy badaniu np. zależności wielkości przepływu od stopnia zarastania cieku itp. Fenologia jest również bardzo ważną dziedziną wiedzy w zakresie badań meteorologicznych. Zwłaszcza w klimatologii i w agrometeorologii badania fenologiczne wykorzystywane są w szerokim zakresie.

Jakkolwiek obserwacje zoofenologiczne nie są tutaj bez znaczenia, gdyż np. przyloty i odloty ptaków, zachowanie się niektórych zwierząt itp. dają dobre wskaźniki prognostyczne na temat przyszłych warunków pogodowych, to jednak zakres spostrzeżeń fitofenologicznych, których przedmiot obserwacji jest bardziej związany z miejscem wegetacji, a więc z lokalnymi warunkami klimatu i gleby, jest w klimatologii i agrometeorologii wykorzystywany powszechniej.

W niniejszym komunikacie wskażemy krótko na rolę fenologii w niektórych tylko zagadnieniach klimatologicznych i agrometeorologicznych. Są to fakty powszechnie znane, lecz w tematyce obecnego Zjazdu powinny się znaleźć, dlatego pozwalam sobie jeszcze raz je przypomnieć.

ROŚLINA JAKO INSTRUMENT POMIAROWY

Podstawą badań meteorologicznych, klimatologicznych, czy agrometeorologicznych są pomiary natężenia i przebiegu wartości w skali czasu

elementów meteorologicznych, będących skutkiem odbywających się procesów i zjawisk fizycznych w atmosferze i wierzchniej warstwie gleby. Dlatego też wymienione nauki operują stale pewnymi przyrządami pomiarowymi. Ponieważ w klimatologii i w agrometeorologii częściej mamy do czynienia nie z jednym punktem pomiaru, a wieloma punktami rozłożonymi w przestrzeni, przeto w przyrządoznawstwie meteorologicznym równie ważnymi cechami instrumentów, obok ich dokładności, jest jednakowa budowa oraz prostota konstrukcji.

Ze względów technicznych warunki stawiane tym przyrządom są często z sobą w sprzeczności. I tak np. warunek prostoty budowy przyrządu jest zazwyczaj niezgodny z warunkiem jego dokładności czy czułości, a znowu skomplikowana struktura, przy dużej wprawdzie dokładności pomiaru, wyklucza powszechność stosowania przyrządu na sieci obserwacyjnej. Dlatego też meteorologia operuje dwoma typami przyrządów. W jednym typie chodzi o identyczność budowy i jej prostotę, a więc o możliwie zbliżony stopień niedokładności we wszystkich punktach pomiarowych, drugi typ — to przyrządy dokładne, o skomplikowanej budowie, używane w niewielu punktach badawczych.

Przyrządy precyzyjne nie są jeszcze produkowane seryjnie, w poszczególnych służbach są raczej używane tylko pojedyncze egzemplarze wzorcowe, dlatego też istnieją w wielu państwach trudności ze zdobyciem odpowiedniego sprzętu pomiarowego do bardziej dokładnych pomiarów klimatologicznych, czy agrometeorologicznych. Trudności te dają się w znacznym stopniu zmniejszyć przez stosowanie w pomiarach metod fenologicznych. W fenologii przyrządami pomiarowymi są rośliny.

Konstrukcja przyrządów fizycznych z góry określa limit ich czułości, której na ogół nie można zmienić bez ich przebudowy, a najczęściej nie dają się one w ogóle przebudowywać. Można zmniejszać zbiorniczek z rtęcią w termometrze rtęciowym, aby przyrząd szybciej reagował na zmiany temperatury, ale tą drogą nie osiągniemy dużej czułości tego termometru. Ażeby termometr mógł widocznie reagować na dużą częstotliwość zmian temperatury, trzeba zbudować inny termometr, w którym podstawą działania będzie nie rozszerzalność rtęci, a np. zmiana oporu elektrycznego metalu pod wpływem zmian temperatury. Jeżeli w jakichś specjalnych badaniach czułość takiego termometru oporowego będzie jeszcze niedostateczna, trzeba przebudować go w ten sposób, by zamiast metalu użyć doń półprzewodników (termistory) których zmiany oporu elektrycznego leżą w kilkadziesiąt razy większej skali od zmian oporu dobrych przewodników.

Tymczasem przyrząd-roślina (bez żadnej przebudowy) osiągać może teoretycznie taki stopień czułości, jaki jest potrzebny przy danych badaniach. Cykl rozwojowy rośliny składa się bowiem z nieskończonej liczby zmian i ilość tych zmian poddana obserwacjom decyduje o stopniu czułości przyrządu pomiarowego.

W zwykłych badaniach makroklimatologicznych wystarczy nam obserwowanie niewielu dłuższych okresów w cyklu rozwojowym rośliny. Dokonywanie np. spostrzeżeń fazy rozwoju pączków, fazy listnienia, kwitnienia, dojrzewania nasion, zmiany barwy liści na jesieni itp. jest wystarczające do określania zmian warunków atmosferycznych w skali makroklimatu. Natomiast przy pomiarach mikroklimatologicznych, czy fitoklimatologicznych żądamy od przyrządu-rośliny o wiele większej czułości w reagowaniu na warunki otoczenia.

Na przykład faza rozwoju pączków jest określona w instrukcji, jako ten moment w rozwoju rośliny, kiedy spostrzegamy wysunięcie się zielonego wierzchołka z pączka. Termin zaobserwowania tego zjawiska zależy od warunków siedliskowych, a w stałym miejscu obserwacji zależy co roku głównie od warunków atmosferycznych. Dlatego też data rozwoju pączków u obserwowanej rośliny, charakteryzuje przebieg pogody, a w okresie wieloletnim — warunki klimatyczne otoczenia rośliny. Jeżelibyśmy chcieli poznać warunki klimatyczne okresu rozwoju pączków bardziej szczegółowo, tzn. gdybyśmy chcieli zwiększyć dokładność pomiaru, moglibyśmy opisywaną fazę fenologiczną podzielić na kilka krótszych faz rozwojowych i wszystkie je obserwować. Wówczas spostrzeżeniom podlegałyby w okresie rozwoju pączków momenty: nabrzmienia pączków, rozchylania się łusek, ukazywania się na szczycie pączka zielonego listka, odpadanie łusek pączkowych itp. Na tym polega zwiększanie czułości fenologicznych przyrządów pomiarowych — roślin, bez zmiany ich budowy.

Ponieważ w każdym zjawisku rozwojowym rośliny rozróżnić możemy dowolną ilość następujących po sobie i wzajemnie się zazębiających stanów rozwojowych, przeto żądana czułość rośliny, jako przyrządu pomiarowego jest zachowana przez cały jej okres wegetacyjny, a zatem roślina jest wystarczająco czułym przyrządem do uzyskiwania dokładnych danych o mikroklimacie, czy fitoklimacie poszczególnych skrawków terenu. Ażeby zadanie to było wykonane, ilość obserwowanych roślin na danym terenie musi być jednak dostatecznie duża, tzn. obserwacyjna sieć fenologiczna musi być gęsta. Jest to stara prawda, którą już w 1870 r. rozumiał Hoffman, rozpoczynając organizację sieci fenologicznej w Niemczech od 600 punktów obserwacyjnych.

Jak już wspomniałem na wstępie, głównymi warunkami przydatności przyrządów meteorologicznych na sieci obserwacyjnej są: prostota budowy i identyczność konstrukcji. Warunki te są niezbędne do zachowania zasady porównywalności wyników obserwacji oraz powszechności używania tych przyrządów w licznych punktach pomiarowych. W obserwacjach fenologicznych wymienione warunki są zachowane, gdyż do spostrzeżeń fenologicznych wybiera się rośliny powszechnie znane i wszędzie rosnące. Prostota budowy przyrządów jest bowiem równoznaczna z powszechną znajomością obserwowanych roślin, a identyczność konstrukcji

przyrządów sieciowych — z obserwowaniem tych samych roślin, wszędzie rosnących.

OBSERWACJE FENOLOGICZNE W METODOLOGII BADAŃ KLIMATYCZNYCH I AGROMETEOROLOGICZNYCH

Dawne pojęcie klimatu, wprowadzone przez Hanna i analityczna metoda elementów, jest obecnie koncepcją przestarzałą, stosowaną jedynie jako dodatek w opisie warunków klimatycznych, w nowszych pracach, badających dynamikę mas powietrznych i frontów oraz ich częstotliwość — co charakteryzuje współczesne pojęcie klimatu.

W agrometeorologii analityczna metoda określania klimatu, jaką stosował Hann, a za nim inni klimatolodzy niemal aż do dnia dzisiejszego jest statystyczną fikcją nie dającą pojęcia o wpływie warunków klimatycznych na rośliny, czy zwierzęta. Na organizmy te bowiem oddziałuje kompleks jednocześnie działających elementów klimatu, który nie jest ich zwykłą sumą arytmetyczną i wypadkowa ich oddziaływania nie da się wyprowadzić z norm klimatu Hanna. Dlatego też w agrometeorologii (i innych zresztą kierunkach wiedzy meteorologicznej) stosuje się obecnie w pracach nad poznaniem klimatu metody syntetyczne, konstruując np. rozmaite wskaźniki o charakterze kompleksowej oceny klimatu. Wskaźników tych jest w literaturze dużo i wszystkie one dążą do otrzymania kompleksowej cechy jakości klimatu wartością liczbową, która powstaje przez odpowiednie matematyczne związanie paru wybranych elementów klimatycznych. Ujemną stroną tych indeksów jest na ogół zbyt upraszczanie pojęcia klimatu przez reprezentowanie go we wskaźniku zbyt wąskim wycinkiem całego kompleksu warunków klimatycznych. Pełniejsze traktowanie klimatu w omawianych wskaźnikach wymagałoby uwzględniania w nich większej liczby elementów, co byłoby niezmiernie trudne przy konstruowaniu logicznych formułek matematycznych tych wskaźników.

Trudności w stosowaniu metod syntetycznych (metod wskaźników) w opracowaniach agroklimatologicznych dają się częściowo pokonać przez wprowadzenie tu metod fenologicznych. Terminy faz fenologicznych są bowiem liczbowymi symbolami określania cech klimatu na podstawie stwierdzonych skutków oddziaływania kompleksu warunków klimatycznych na rozwój rośliny, dlatego też obserwacje fenologiczne dają nam wartości wskaźników, szeroko uwzględniających warunki klimatyczne. Metoda ta daje ogromne usługi przy rozwiązywaniu wielu zagadnień praktycznych w agrometeorologii.

Zanim dla przykładu podam parę tematów agrometeorologicznych rozwiązywanych za pomocą danych fenologicznych, chciałbym jednak zauważyć, że rozmaite rośliny mają różne wymagania klimatyczne i jedne gatunki reagują szybciej i bardziej widocznie na zmiany warunków sied-

liskowych, u innych reakcja ta jest mniej widoczna, jedne rośliny są wrażliwe na większe natężenie jednego elementu, drugie na działanie elementu innego itp. Dlatego też wybór roślin do obserwacji fenologicznych dla celów klimatologicznych i agrometeorologicznych jest sprawą bardzo ważną. Naczelną zasadą tego wyboru musi być jednak warunek możliwie dużego zasięgu występowania rośliny oraz znajomość jej przez szerokie rzesze obserwatorów. Wobec selektywności reagowania roślin na warunki klimatyczne ogólnie można twierdzić, że im większą liczbą gatunków operujemy w opracowaniach agrometeorologicznych, tym pełniej uwzględniamy w nich klimat.

FENOLOGICZNE PORY ROKU

Astronomiczny, czy meteorologiczny podział roku na okresy krótsze jest w agrometeorologii podziałem sztucznym, przyrodniczo nieuzasadnionym. Dlatego też przy rozwiązywaniu wielu zagadnień z agrometeorologii lub rozstrzyganiu wielu praktycznych poczynań w rolnictwie, leśnictwie, czy ogrodnictwie — fenologiczne pory roku dają o wiele słuszniejszy merytorycznie podział okresu rocznego. W. Szafer [5] pisze: „Poczucie zmiany pory roku budzą u nas przede wszystkim zjawiska fenologiczne. Jednym z zadań fenologii jest nadanie temu poczuciu ścisłej treści i wykazanie, że opiera się ona na pewnej sumie rzeczywistych faktów z dziedziny periodycznych pojavów świata żywego”.

W oparciu o kryterium Ihnego podziału roku na sezony fenologiczne dla naszej strefy klimatycznej, w PIHM zostały opracowane fenologiczne pory roku. Aczkolwiek uwzględnianie większej ilości roślin daje szersze ujmowanie warunków klimatycznych w ich reakcji fitofenologicznej, to jednak konstrukcja map oparta na większej liczbie roślin, przez zbytne uśrednianie wpływów klimatu na szereg różnych roślin, kryje w sobie niebezpieczeństwo zacierania różnic pomiędzy różnymi częściami kartowanego obszaru. Dlatego też przy opracowywaniu opisywanego tematu uwzględniano po dwie rośliny przewodnie dla każdej pory roku [1].

Początek zarań wiosny (rys. 1) wykreślono na podstawie średnich arytmetycznych, terminów zakwitania leszczyny (kwiaty żeńskie) i zakwitania podbiału;

dla wczesnej wiosny (rys. 2) — zakwitanie czeremchy i mniszka lekarskiego;

przy określaniu wiosny (rys. 3) posłużono się skartowaniem średnich arytmetycznych terminów zakwitania bzu pachnącego i kasztanowca;

wczesne lato (rys. 4): zakwitanie żyta ozimego i grochodrzewiu;

początek lata (rys. 5) charakteryzują średnie arytmetyczne z terminów zakwitania lipy drobnolistnej i zniw żyta ozimego;

dla wczesnej jesieni (rys. 6) przyjęto średnie arytmetyczne daty początku dojrzewania owoców kasztanowca i pełni kwitnienia wrzosu;

mapa jesieni (rys. 7) powstała ze średnich arytmetycznych dat zmiany barwy liści kasztanowca i brzozy brodawkowatej oraz terminu opadania liści u brzozy brodawkowatej.

zima — ósma pora roku — została przedstawiona w postaci czterech mapek (ryc. 8A, 8B, 8C, 8D) obrazujących zejście zimy z obszarów Polski w terminach: 21.III, 26.III, 31.III i 5.IV. Po odczytaniu tych map wi- dać, że:

1. Wiosenne fenologiczne pory roku wkraczą na tereny Polski od strony południowo-zachodniej, posuwając się stopniowo w kierunku pół- nocno-wschodnim kraju.

2. Poszczególne wiosenne fenologiczne pory roku zmieniają prędkość ruchu podczas pochodu przez obszar kraju. Najbardziej zmienną prę- dkością ruchu charakteryzuje się zaranie wiosny. Największa prędkość ruchu zarania wiosny przypada na centralne dzielnice kraju, najmniej- sza — na północno-wschodnie tereny Polski. Najbardziej jednostajnym ruchem odznacza się pełnia wiosny.

3. Letnie pory fenologiczne obejmują obszary kraju w kierunku rów- nolególnym, od południa ku północy, przy czym kierunek ruchu wcze- snego lata jest wyraźniejszy, niż lata.

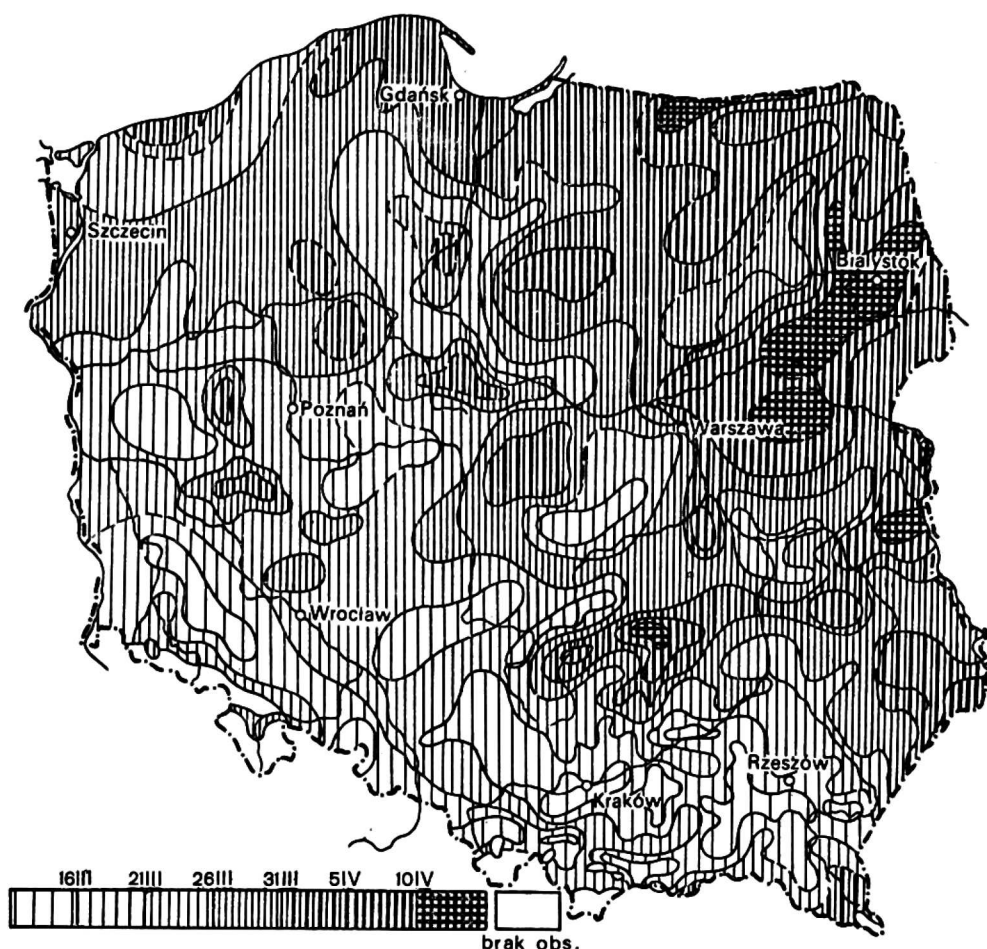
4. Kierunek pochodu jesiennych, fenologicznych pór roku jest mniej wyraźny niż przy poprzednich porach. Zwłaszcza wczesna jesień nie ma zdecydowanego kierunku pochodu na obszarach kraju.

5. Najdłużej trwającymi fenologicznymi porami roku są: zaranie wios- ny, wczesne lato i lato, najkrótszymi — wczesna wiosna i pełnia wiosny.

6. Według fenologicznego podziału roku, zima na terenach Polski trwa dłużej niż według podziałów klimatologicznych, np. wg podziału Merc- kiego.

OKRES WEGETACYJNY W POLSCE

W opracowaniach klimatologicznych, wykorzystywanych przez rolni- ków, albo przy pewnych ogólnych opracowaniach agrometeorologicznych wprowadza się pojęcie okresu wegetacyjnego, tj. okresu w roku, kiedy wszystkie lub większość roślin rosnących na rozpatrywanym obszarze (obszarze w skali geograficznej, a więc co najmniej w jakimś dużym re- gionie kraju) przechodzą swój roczny cykl rozwojowy. Tak więc okres wegetacyjny jest to pojęcie bardzo zgeneralizowane, ale ta generalizacja nie może być zbyt szablonowa, wypaczająca samo pojęcie tego okresu. I tak niesłuszne jest (jak to podają w atlasach klimatycznych) przyjmo- wanie tego okresu np. od 1.IV. do 30.IX. dla całego kraju. Różnice w ro- zwoju tych samych roślin na krańcach naszych obszarów dochodzą do jednego miesiąca, również rozpoczęcie wiosennych prac polowych różni się w czasie pomiędzy terenami woj. zielonogórskiego i białostockiego przeciętnie o 25 dni. Są to zbyt duże różnice czasowe, by można przyj-



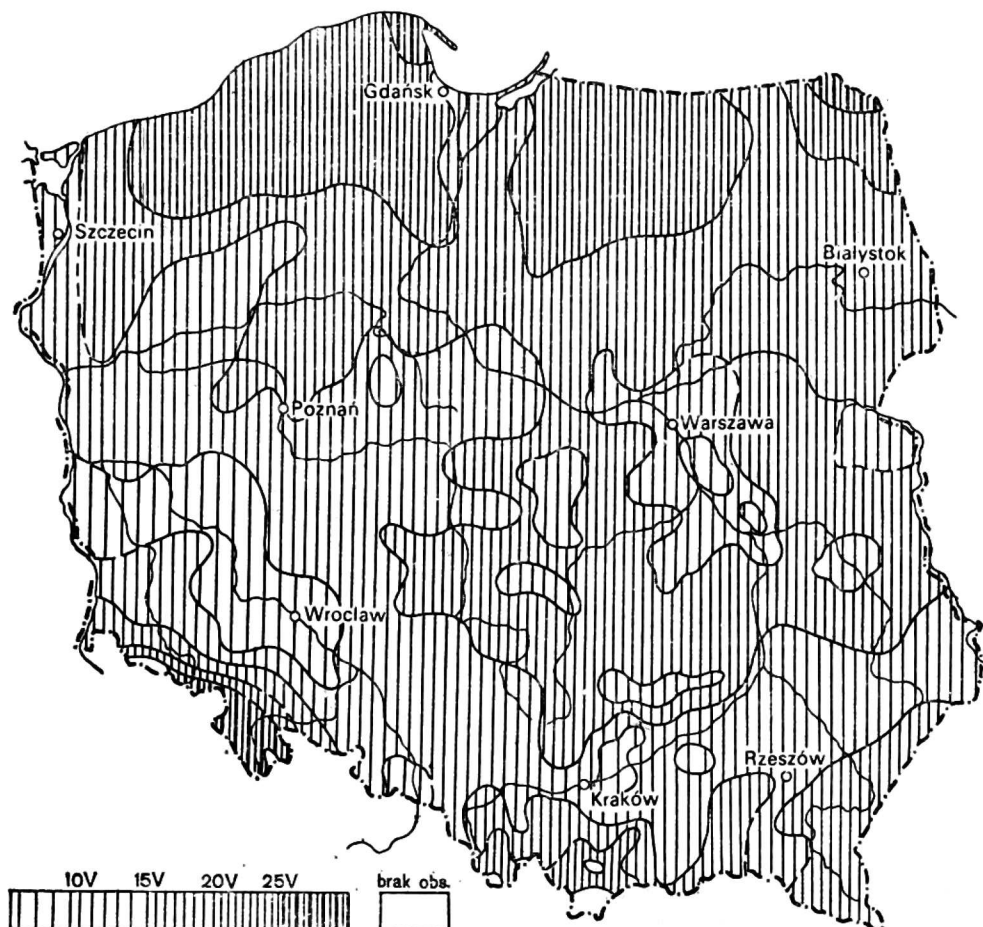
Rys. 1. Zaranie wiosny: średnia arytmetyczna terminów zakwitania leszczyny i podbiału (1951—1960)

Fig. 1. Awakening of spring: arithmetic mean of dates of blooming-time of hazel (*Corylus avellana*) and coltsfoot (*Tussilago farfara*) 1951—1960



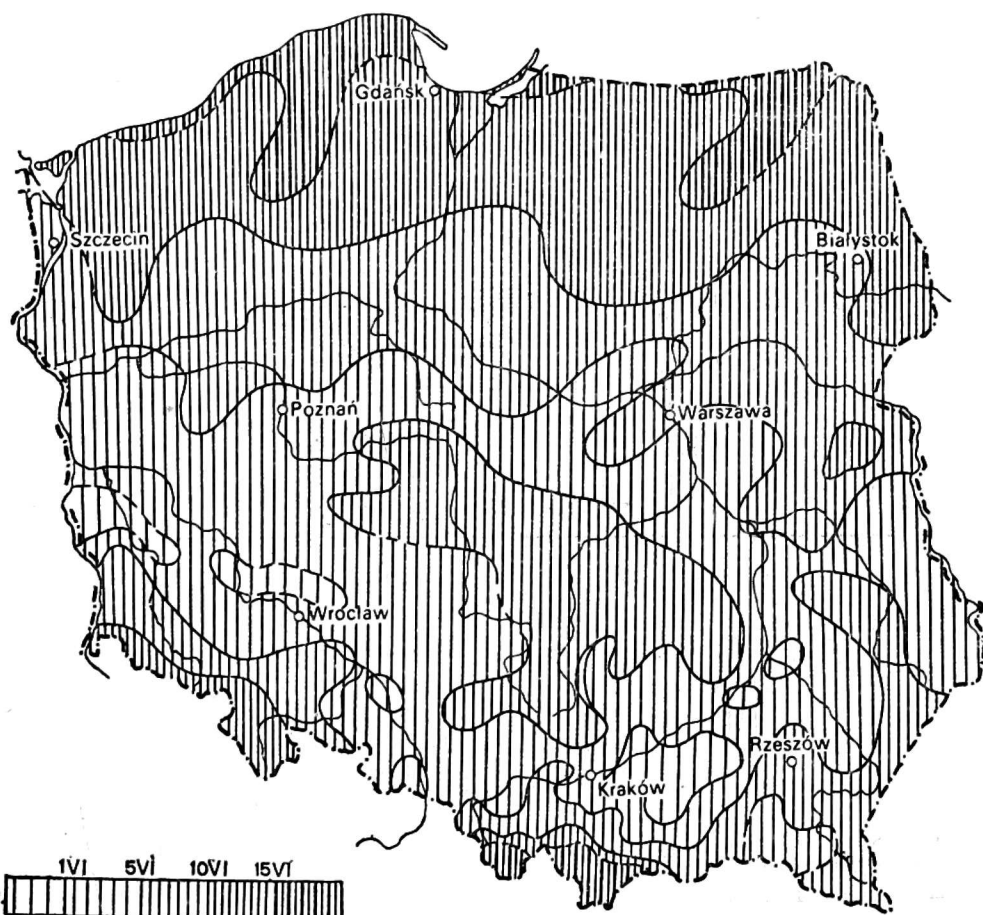
Rys. 2. Wczesna wiosna: średnia arytmetyczna terminów zakwitania czeremchy i mniszka lekarskiego (1951—1960)

Fig. 2. Early spring: arithmetic mean of dates of blooming-time of bird cherry (*Prunus padus*) and dandelion (*Taraxacum officinale*) 1951—1960



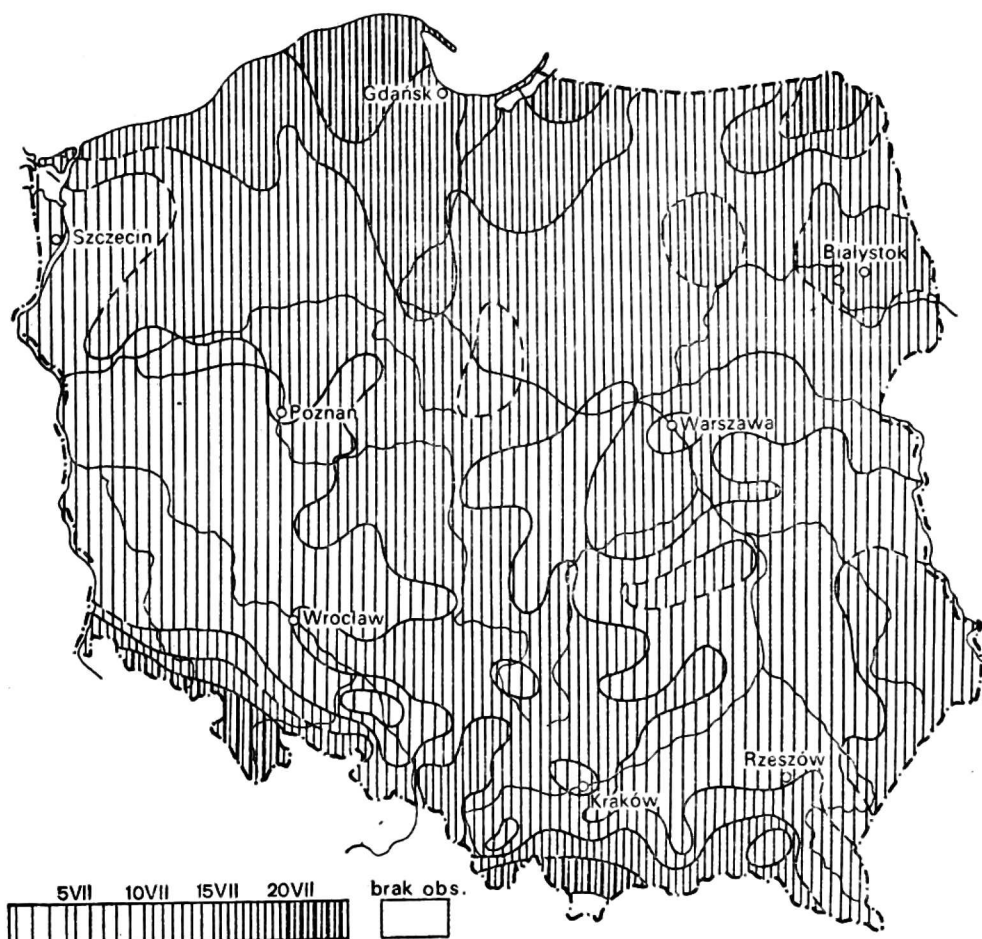
Rys. 3. Pełnia wiosny: średnia arytmetyczna terminów zakwitania lilaka i kasztanowca (1951—1960)

Fig. 3. Full spring: arithmetic mean of dates of blooming-time of lilac (*Syringa vulgaris*) and chestnut (*Aesculus hippocastanum*) 1951—1960



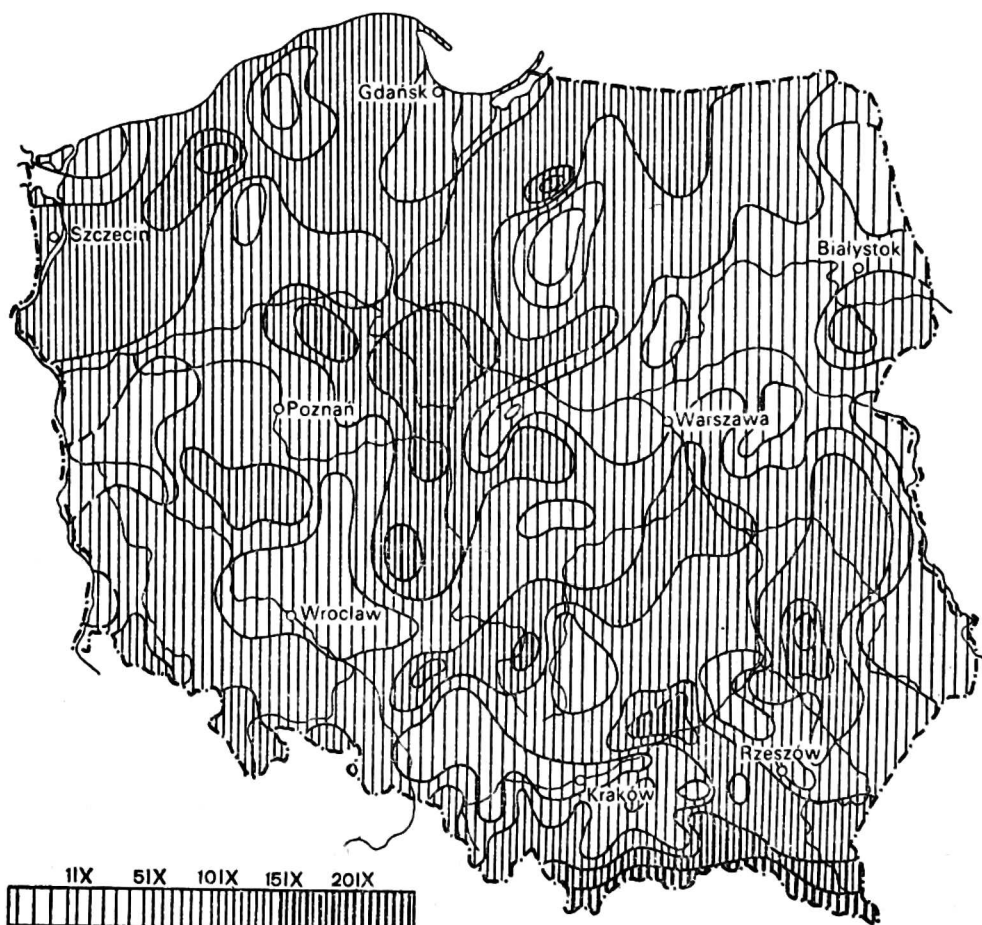
Rys. 4. Wczesne lato: średnia arytmetyczna terminów zakwitania żyta ozimego i akacji (1951—1960)

Fig. 4. Early summer: arithmetic mean of dates of blooming-time of winter rye (*Secale cereale*) and acacia (*Acacia*) 1951—1960



Rys. 5. Lato: średnia arytmetyczna terminów zakwitania lipy drobnolistnej i żniw żyta ozimego (1951—1960)

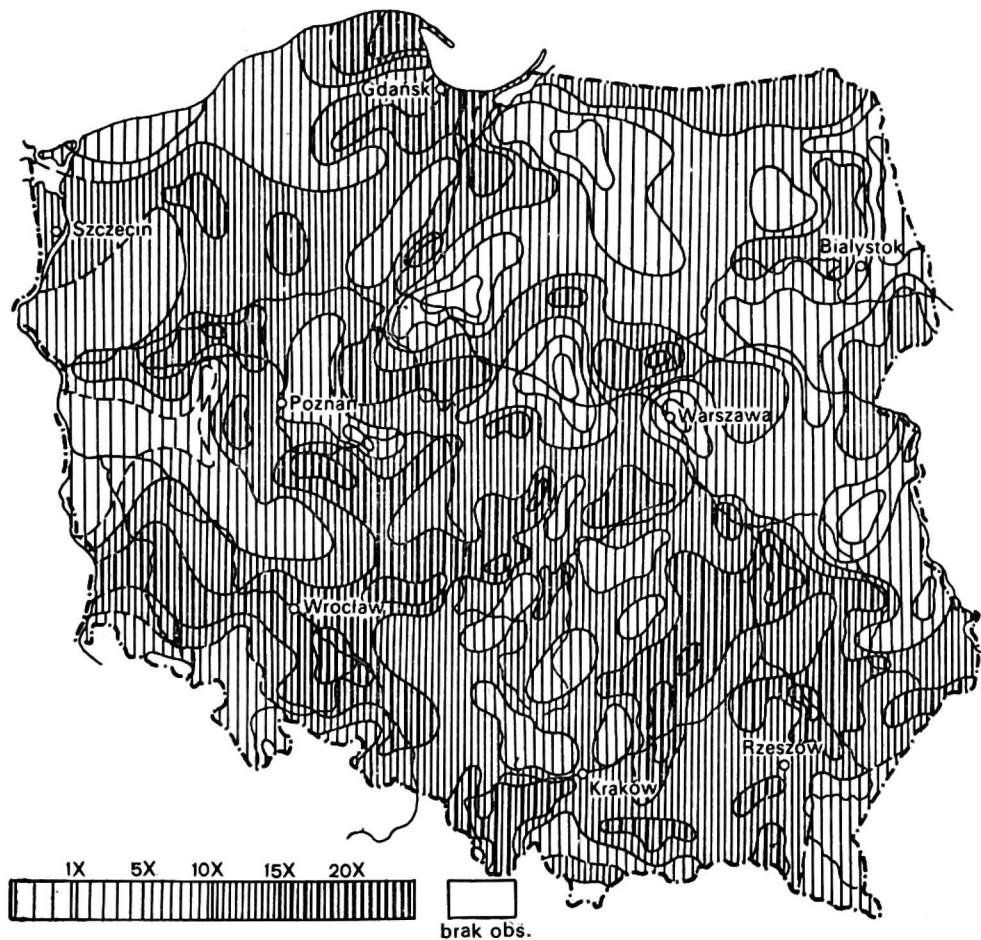
Fig. 5. Summer: arithmetic mean of dates of blooming-time of linden (*Tilia parvifolia*) and winter rye harvest 1951—1960



Rys. 6. Wczesna jesień: średnia arytmetyczna terminów początku dojrzewania kasztanowca i pełni zakwitania wrzosu (1951—1960)

Fig. 6. Early autumn: arithmetic mean of dates of beginning-time of chestnut ripening and full blooming of heather (*Calluna vulgaris*) 1951—1960

mować jedną datę za początek okresu wegetacyjnego dla całego kraju. To samo daje się stwierdzić i dla końca tego okresu. Dlatego też w mniej szablonowych opracowaniach klimatologicznych skrajne daty okresu wegetacyjnego ustala się na podstawie pewnych progowych wartości elementów meteorologicznych, posiadających wyraźny roczny cykl rozkładu wartości, a więc np. krańcowe terminy tego okresu określają „progami” temperatury powietrza 5° , czy 3°C . W niektórych opracowaniach czas



Rys. 7. Jesień: średnia arytmetyczna terminów zmiany barwy liści u kasztanowca i brzozy oraz opadania liści u brzozy (1951—1960)

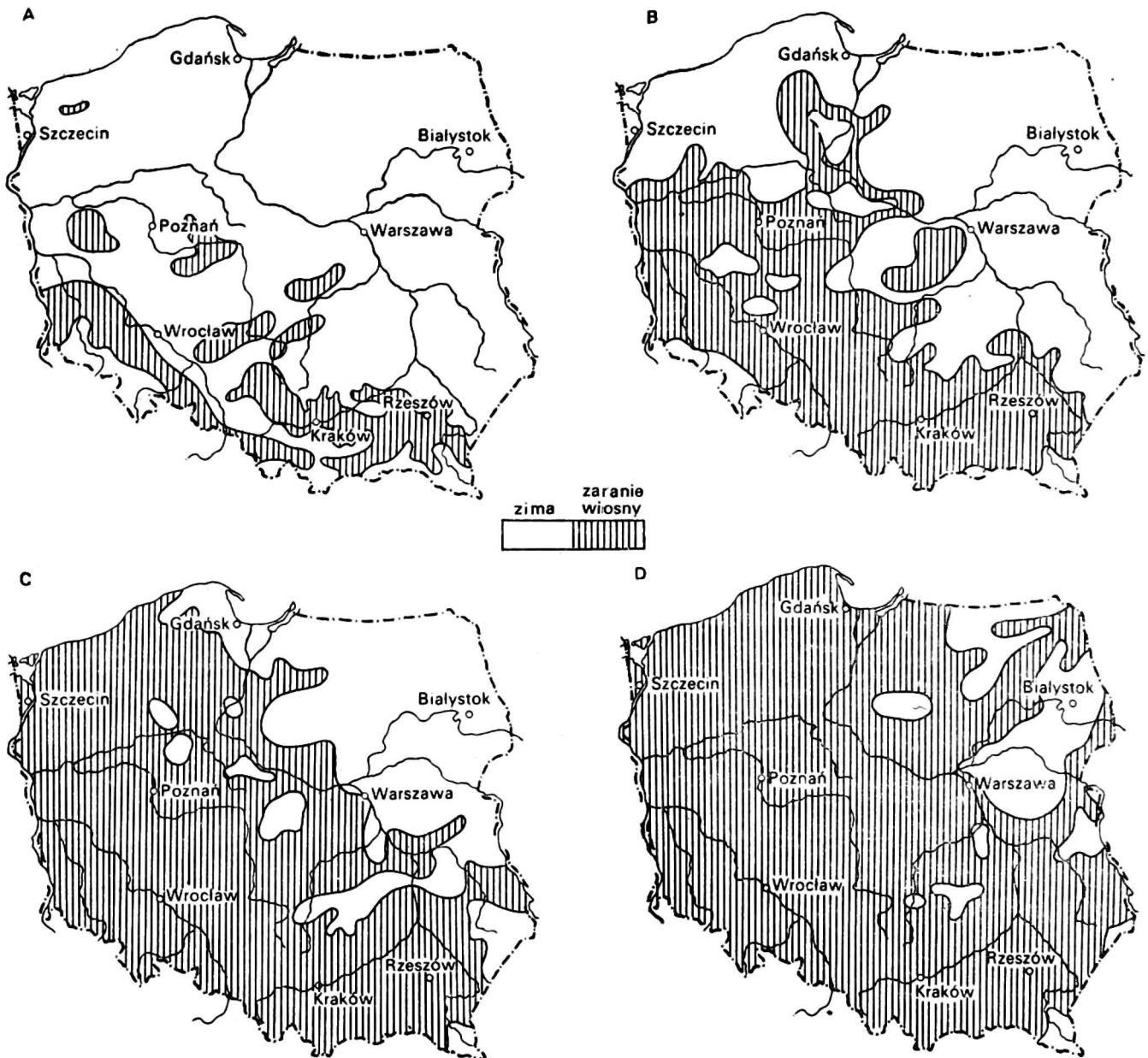
Fig. 7. Autumn: arithmetic mean of dates of color changing times of chestnut leaves and of birch leaves falling (*Betula verrucosa*) 1951—1960

trwania okresu wegetacyjnego ustalają pewne czynności gospodarcze, uzależnione od warunków klimatycznych i glebowych np. początek tego okresu ustala się na podstawie dat rozpoczynania pierwszych, wiosennych prac polowych.

Z istoty pojęcia „okres wegetacyjny” wynika najbardziej słuszne oparcie czasu jego trwania na terminach faz fenologicznych. Ponieważ czasokres ten powinien mieścić w sobie okresy wegetacji możliwie dużej ilości roślin występujących na terenie kraju, przeto początek jego oprzeć trzeba na możliwie najwcześniejszej fazie fenologicznej na wiosnę, a koniec na najpóźniejszej — na jesieni.

W opracowaniu, jakie chcę przedstawić [2], za podstawę początku okresu wegetacyjnego przyjęto w przybliżeniu terminy rozwoju kwiatów żeńskich *Corylus avellana*, zdając sobie sprawę że terminy te są zbyt

wczesne dla praktycznego określenia okresu wiosennego rozwoju roślin uprawnych. Natomiast przyjmowanie przez klimatologów okresu od progu 5° na wiosnę do 5° na jesieni daje okres ten zbyt zawężony. Przed ustaleniem się temperatury powietrza na wysokości tego „progu” obser-



Rys. 8. A. Zejście zimy z terenów Polski w dniu 21 marca

Fig. 8. A. Final retreat of winter in Poland on 21 March

Rys. 8. B. Zejście zimy z terenów Polski w dniu 26 marca

Fig. 8. B. Final retreat of winter in Poland on 26 March

Rys. 8. C. Zejście zimy z terenów Polski w dniu 31 marca

Fig. 8. C. Final retreat of winter in Poland on 31 March

Rys. 8. D. Zejście zimy z terenów Polski w dniu 5 kwietnia

Fig. 8. D. Final retreat of winter in Poland on 5 April

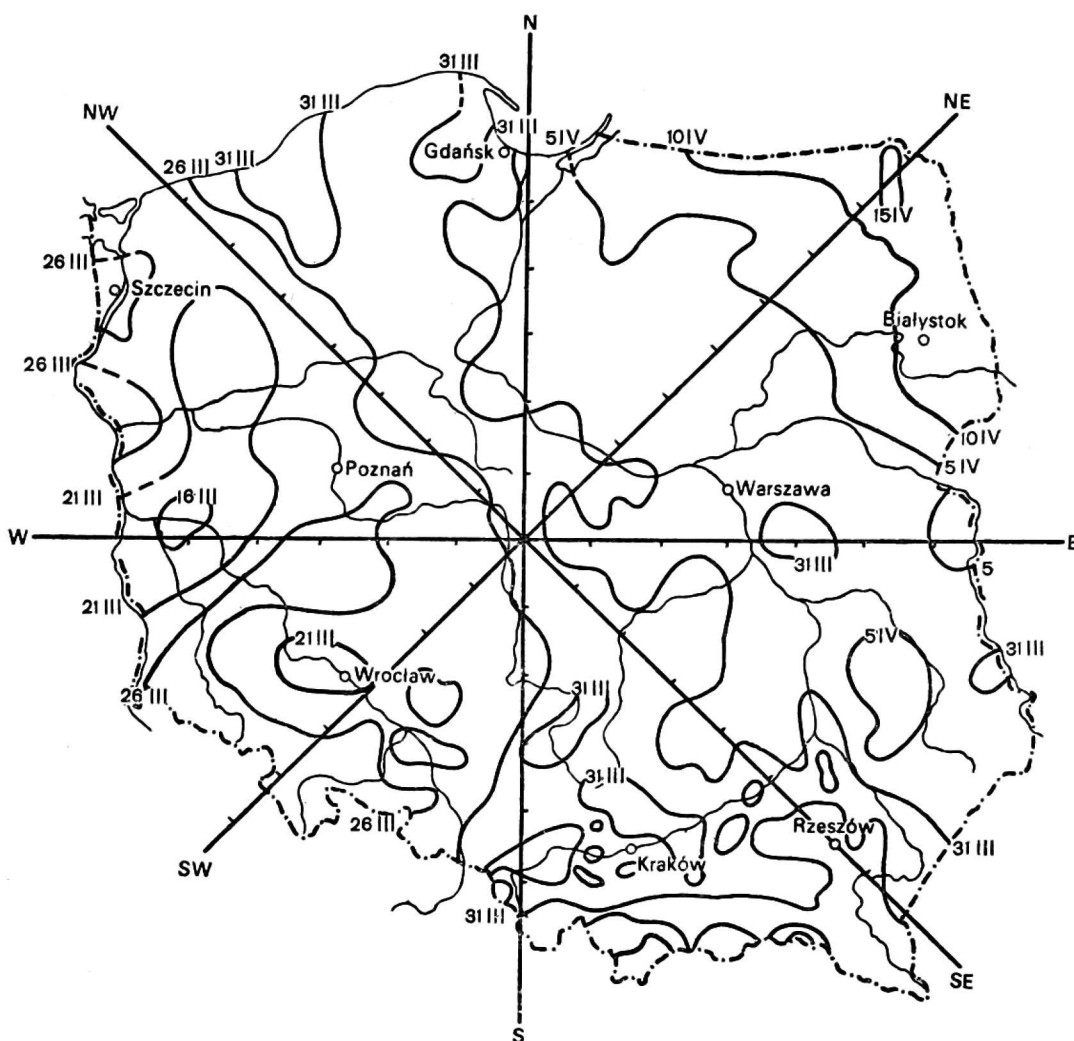
wuje się w całej Polsce wzmożenie wegetacji roślin. Robiono również próby konfrontacji ustalania się temperatury powietrza $+3^{\circ}\text{C}$ z rozwojem wegetacji i stwierdzono także w niektórych regionach kraju zbyt znaczne skracanie okresu wegetacyjnego tym progiem termicznym (w woj. poznańskim, łódzkim i opolskim leszczyna zakwita o 15 dni wcześniej niż się ustala temperatura powietrza 3°C).

Dlatego też porównano terminy zakwitania leszczyny z tzw. okresem gospodarczym, wprowadzonym do literatury klimatologicznej przez E. Romera. Przyjmując za okres wegetacyjny czas od podniesienia się temperatury średniej dobowej powietrza do $+5^{\circ}$ do spadku jej na jesieni również do wartości $+5^{\circ}$, Romer wyróżnia przed i po tym okresie pory „szarugowe” które nazwał „przedwiosniem” i „przedzimiem”, charakteryzując je temperaturą powietrza od 0° do 5° . Romer twierdzi, iż nie ulega wątpliwości, że często okresy te są wykorzystywane gospodarczo (prowadzone są prace polowe) i dlatego do sumy dni okresu wegetacyjnego wlicza połowę czasu trwania obu okresów szarugowych i w ten sposób otrzymuje pojęcie tzw. okresu gospodarczego. W porównaniu z terminami fenologicznymi, daty początku okresu gospodarczego są również spóźnione, lecz spóźnienie to jest średnio niewielkie, wykazuje natomiast znaczną zmienność dla rozmaitych terenów Polski, co nasuwa wątpliwości zbyt słabej synchronizacji fenologicznego początku okresu wegetacyjnego i okresu gospodarczego, ogólnie dla obszarów Polski.

Ażeby określić przydatność okresu gospodarczego dla celów agrometeorologicznych i stwierdzić w konkretnym przypadku, czy może on służyć do korekty zbyt wczesnych dat zakwitania leszczyny, należało porównać struktury mapy fenologicznej i mapy tego okresu. W tym celu została zastosowana pewna wykreslna metoda obiektywnego opisu tych map.

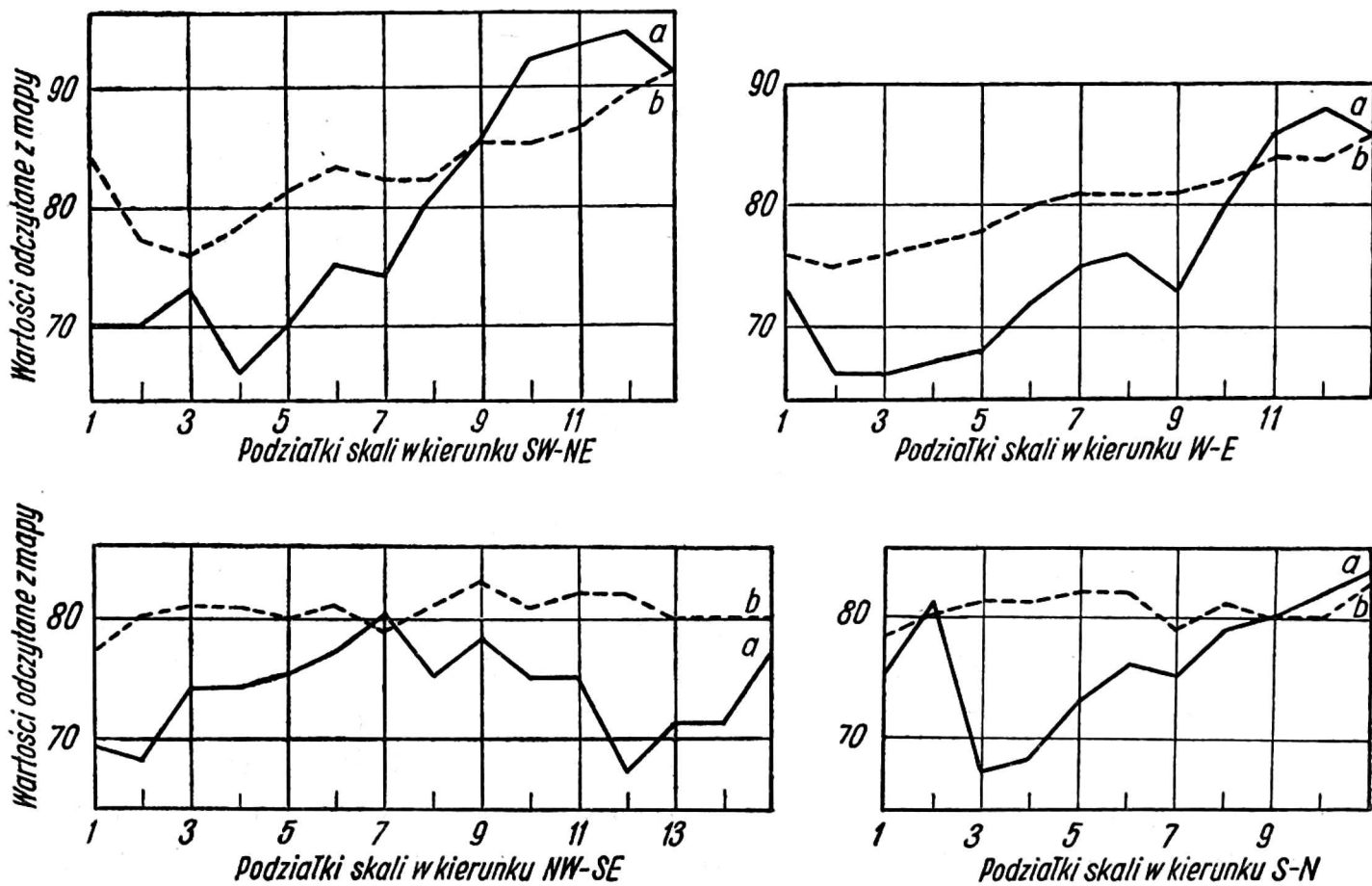
Metoda ta polega na nakładaniu na porównywane mapy (rys. 9) ośmioletniej skali stron horyzontu i na nanoszeniu na wykresy w układzie współrzędnych prostokątnych wartości, odczytanych z map dla każdej podziałki skali. W ten sposób otrzymano 4 wykresy porównawcze terminów zakwitania leszczyny i terminów początku okresu gospodarczego dla czterech kierunków (tras) na mapach: SW — NE, W — E, NW — SE i S — N (rys. 10). Na tych wykresach krzywa początku okresu gospodarczego leży na ogół wyżej (terminy późniejsze) od krzywej zakwitania leszczyny. Istnieją jednak dość duże obszary na terenie kraju, gdzie początek okresu gospodarczego Romera przypada na terminy przed zakwitaniem leszczyny i to jest widoczne na wszystkich wykresach. Słowem, krzywe na wszystkich wykresach przecinają się, co jest graficznym dowodem dużych różnic w strukturze przestrzennej porównywanych map. Wobec tego, przyjmując strukturę mapy fenologicznej za podstawę tego porównania oraz uważając, że przykład „progów” Romera może być rozciągnięty na wszystkie progi termiczne (mapy tych progów są do siebie bardzo podobne) dochodzimy do wniosku, że charakteryzowanie okresu wegetacyjnego „progami” temperatur powietrza jest w agrometeorologii niesłuszne.

Z punktu widzenia praktyki, za początek okresu wegetacyjnego należy uważać terminy możliwości rozpoczęcia wiosennych prac polowych. Termini-



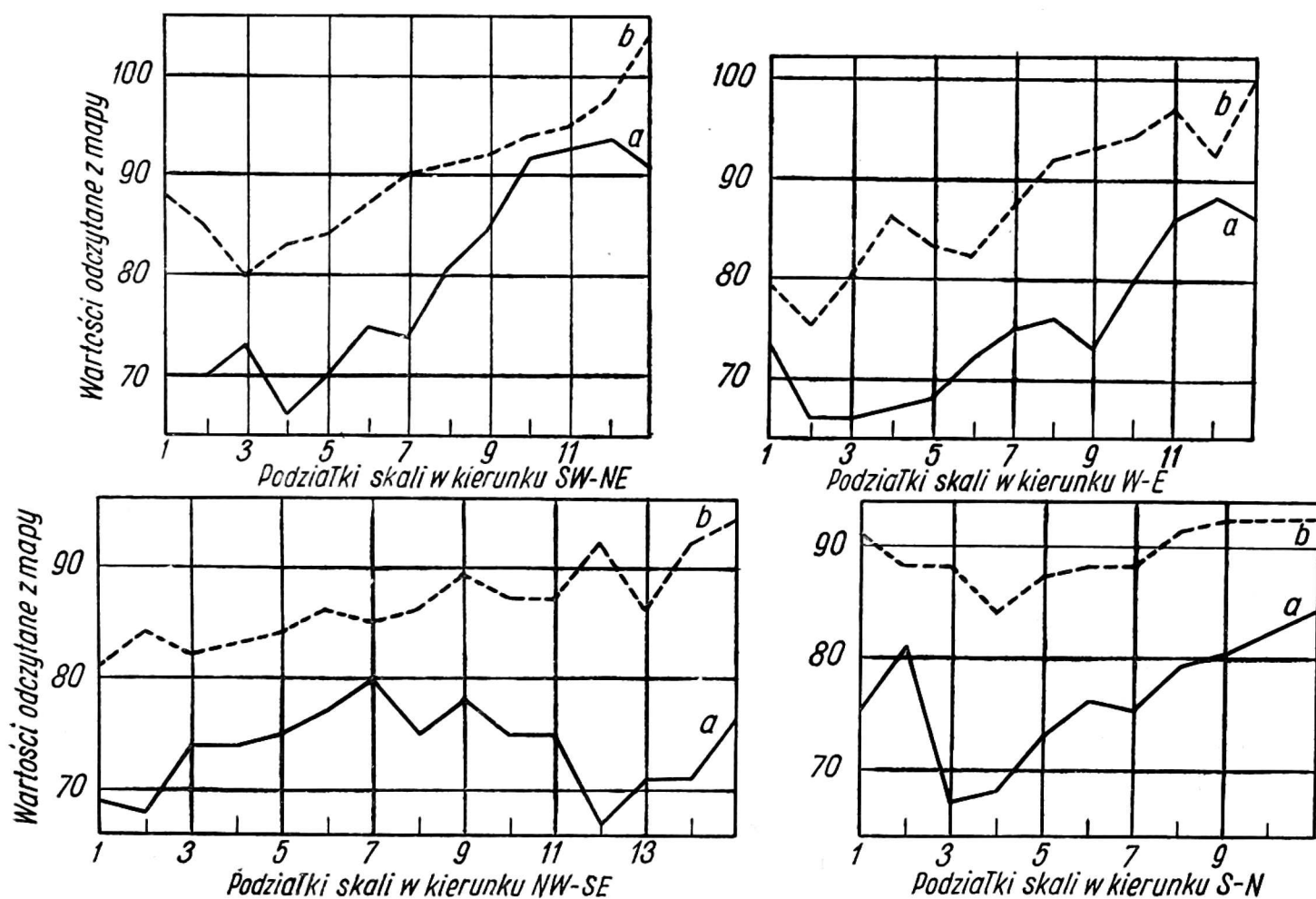
Rys. 9. Ośmiokierunkowa skala stron horyzontu dla porównania struktury przestrzennej poszczególnych map

Fig. 9. Eightdirection scale of horizon sites to compare the spatial structure of particular maps



Rys. 10. Dаты zakwitania leszczyny (a) i początku okresu gospodarczego (b)
 Fig. 10. Dates of hazel blooming (a) and the beginning of economic period (b)

ny te zależą od wiosennego układu pogody, sprzyjającego osuszeniu wierzchniej warstwy gleby, co pozwala na użycie w polu sprzętu rolniczego. Wykreślona mapa terminów początku prac polowych jest podobna do mapy zakwitania leszczyny, z tym, że terminy tych prac są późniejsze od terminów zakwitania *Corylus avellana* (rys. 11). Porównywanie struktury tych dwu map, przeprowadzane omówioną metodą, dało na wykresach krzywe prawie, równoległe, co pozwala wnioskować o zbliżonej strukturze przestrzennej mapy prac polowych i mapy zakwitania leszczyny.



Rys. 11. Daty zakwitania leszczyny (a) i początku prac polowych (b)

Fig. 11. Dates of hazel blooming (a) and the beginning of field works (b)

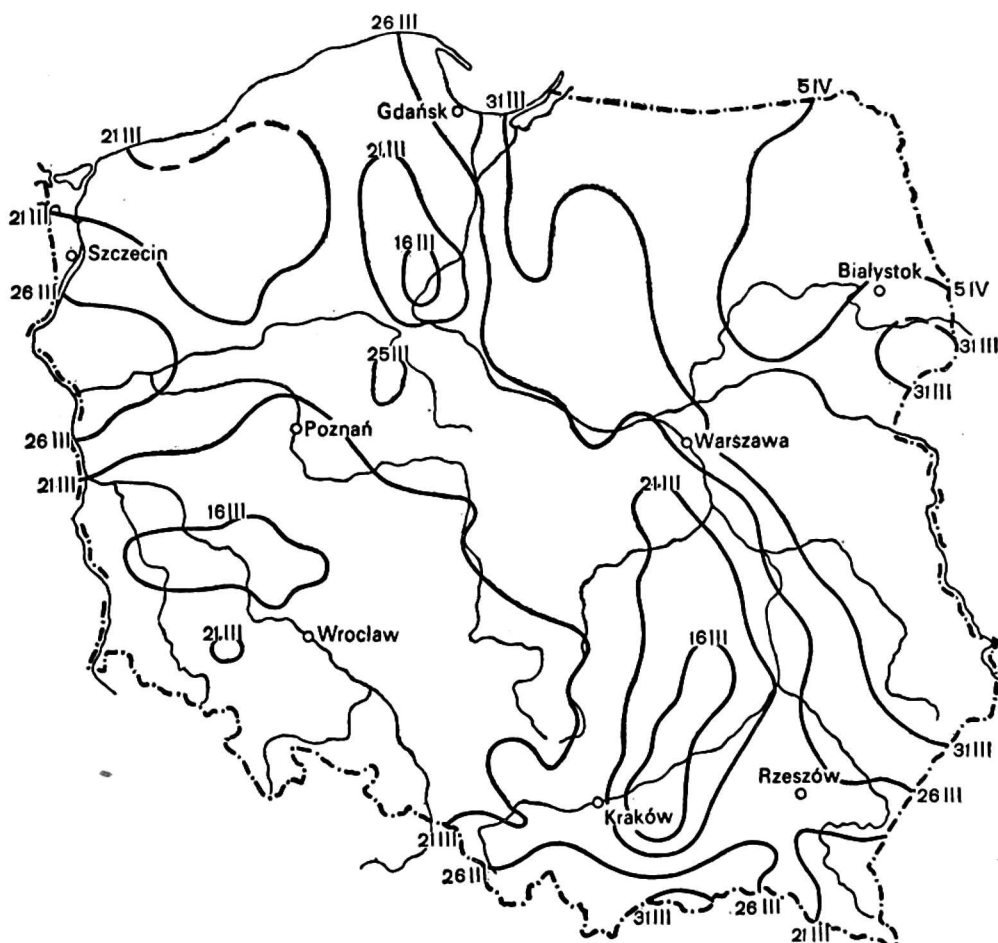
Wobec tego postanowiono użyć terminów początku prac polowych do korekty mapy zakwitania leszczyny. Korekta ta jest wskazana ze względu na specyficzną wrażliwość leszczyny na warunki pogodowe po zimie. Często można bowiem zaobserwować czerwone znamiona pączków kwiatowych leszczyny już w końcu lutego, kiedy jeszcze leży śnieg w sąsiedztwie obserwowanego krzewu. Fakt ten skłonił autora pracy do wyznaczenia początku okresu wegetacyjnego w Polsce na podstawie terminów pośrednich między zakwitaniem leszczyny i początkiem prac polowych.

Chociaż podobieństwo struktury przestrzennej skartowanych obrazów początku zakwitania leszczyny i terminów rozpoczęcia wiosennych prac polowych w rolnictwie jest duże, to jednak krzywe na wykresach nie są zupełnie równoległe i zakłóceniem tej równoległości obarczać należy (m.

in. również panujące przesady zabraniające rozpoczęcia prac w pewnym dniu tygodnia) raczej terminy początku prac polowych, tym bardziej że podstawą terminów okresu wegetacyjnego są dane fitofenologiczne. Dlatego też wyrównano wartości danych o terminach prac polowych przez statystyczne związanie ich z terminami zakwitania leszczyny, co ze względu na duże podobieństwo struktury przestrzennego rozkładu tych danych było merytorycznie dopuszczalne. Po naniesieniu na diagram korelacyjny 120 par danych ze 120 stacji, otrzymano zbiór punktów skupionych po obu stronach prostej $y=0,5x+50$. W ten sposób do opracowania mapy początku okresu wegetacyjnego w Polsce użyto wyrównanych wartości dotyczących prac polowych (rys. 12).

$$M = \frac{x+y}{2}$$

gdzie: x oznacza terminy zakwitania leszczyny, a y — wyrównane terminy początku prac polowych na wiosnę.



Rys. 12. Początek okresu wegetacyjnego w Polsce (1950—1964)

Fig. 12. The beginning of vegetation period in Poland (1950—1964)

Według przedstawionej koncepcji, najwcześniej rozpoczyna się okres wegetacyjny w Polsce w połowie marca, obejmuje on jednak wówczas niewielkie tereny na styku woj. zielonogórskiego, poznańskiego i wrocławskiego, w woj. krakowskim i kieleckim, a także małą wysepką na północ od Bydgoszczy.

Od połowy marca do początku wiosny kalendarzowej (21.III.) okres wegetacyjny rozpoczyna się na dużych obszarach południowo-zachodniej Polski, obejmując południową połowę woj. zielonogórskiego i poznańskiego, południowo-zachodnią część woj. łódzkiego, całe woj. wrocławskie i woj. opolskie. W tym czasie rozpoczyna się również okres wegetacyjny w północno-zachodniej części woj. szczecińskiego i zachodniej części woj. koszalińskiego oraz na terenie kilku powiatów woj. bydgoskiego (Chojnice, Tuchola, Bydgoszcz, Toruń i Świecie), w zachodniej części woj. kieleckiego i na terenie powiatu Grójec woj. warszawskiego. Słowem przed rozpoczęciem wiosny kalendarzowej, już na obszarze wynoszącym 40% powierzchni kraju, rozpoczyna się okres wegetacyjny.

W pasie leżącym na północo-wschód od wspomnianych terenów i sięgającym na wschodnim swym krańcu po linię Gdańsk — Ostróda — Olsztyn — Mława — Mińsk Mazowiecki i dalej na południe Lublin — Tomaszów Lub., okres wegetacyjny zaczyna się w trzeciej dekadzie marca, a nawet w pierwszej pentadzie kwietnia. Najpóźniej, po 5.IV. rozpoczyna się okres wegetacyjny w północnej części woj. białostockiego.

W opracowaniach fenologicznych, dla charakterystyki końca okresu wegetacyjnego przyjmuje się zwykle fazy zmiany barwy liści i opadania liści roślin wieloletnich. Obserwacje tych zjawisk obarczone są dużymi błędami, wynikającymi z trudności precyzji ustalenia w instrukcji obserwowanych faz oraz z powodu zdarzających się często lokalnych zakłóceń, leżących poza warunkami siedliskowymi, które na ogół przyspieszają terminy tych zjawisk. Szczególnie zjawisko opadania liści ulega wspomnianym zakłóceniom i daje nieporównywalne wyniki obserwacji z różnych punktów terenu. Dlatego też, chociaż koniec okresu wegetacyjnego oparto na zmianie barwy i opadaniu liści u kasztanowca i brzozy, to jednak daty fazy opadania liści tych roślin wyrównano statystycznie, uzależniając je od terminów zmiany barwy liści [3].

W ten sposób otrzymano dla kasztanowca następującą zależność:

$$y = -0,50x + 155,37 \quad (r = -0,719)$$

gdzie y jest ilością dni od daty zmiany barwy do daty opadania liści, a x — terminem zmiany barwy liści.

Dla brzozy mamy zależność:

$$y = -0,26x + 89,96 \quad (r = -0,375)$$

Koniec okresu wegetacyjnego, oparty na średniej arytmetycznej z czterech wartości — terminy zmiany barwy liści u kasztanowca i brzozy oraz wyrównane terminy opadania liści u tych roślin, może dać jednak w niektórych dzielnicach kraju dość oderwane daty w zestawieniu z praktyką rolniczą, dlatego też drugim etapem rozważań było ustalenie rolniczego zamknięcia okresu wegetacyjnego.

Za istotną w jesieni kampanię prac polowych, zamykającą okres wegetacyjny, można uważać zbiór buraków cukrowych, dlatego też terminy tego zbioru uważano za dodatkowy element (piąty) w obliczaniu średniej arytmetycznej, będącej wskaźnikiem końca okresu wegetacyjnego w Polsce.

Po stwierdzeniu dużej analogii w strukturze przestrzennej mapy zbiorów buraków cukrowych i mapy średnich arytmetycznych czterech faz kasztanowca i brzozy, obliczono średnie arytmetyczne z wszystkich pięciu elementów, uważając te średnie za daty końca okresu wegetacyjnego (rys. 13).

Najpóźniej, gdyż dopiero w czwartej pentadzie października kończy się okres wegetacyjny w zachodnim skrawku woj. wrocławskiego i południowo-zachodniej części woj. zielonogórskiego. Na dużym obszarze Wielkopolski i Polski Centralnej i w woj. koszalińskim okres wegetacyjny kończył się na początku trzeciej pentady października.



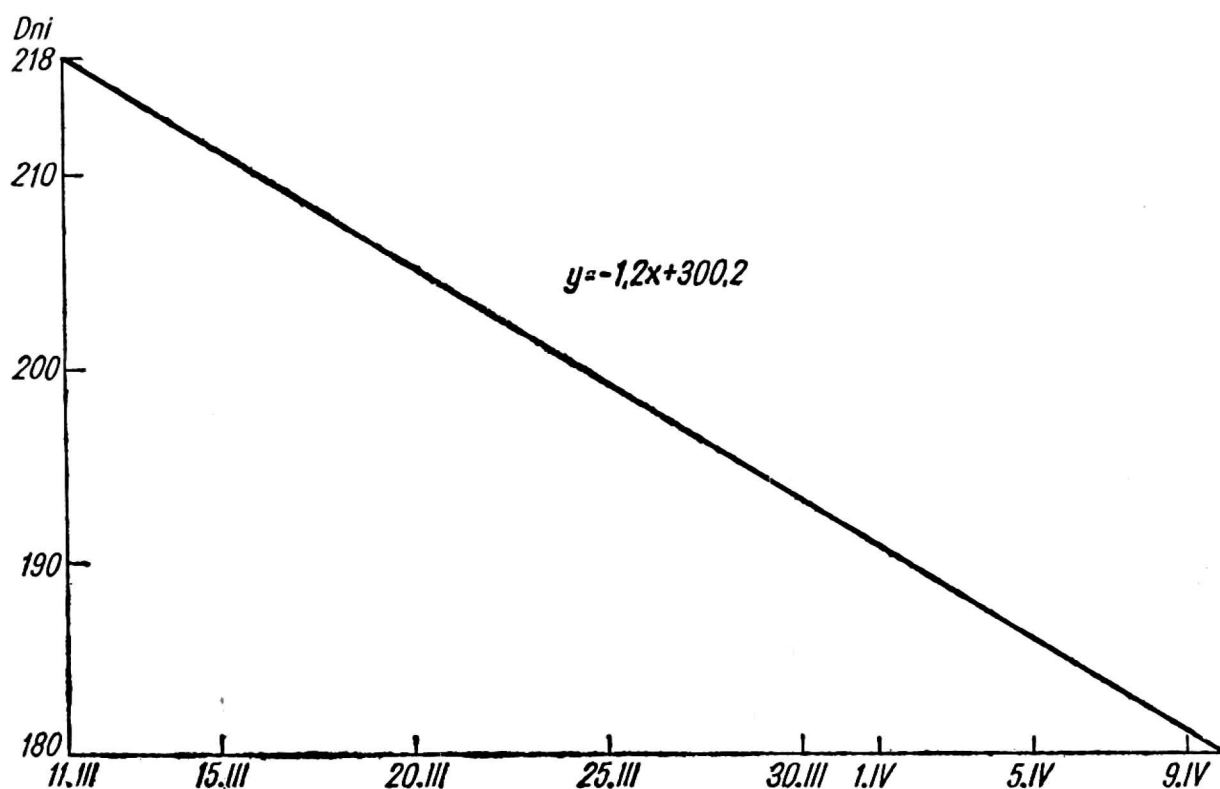
Rys. 13. Koniec okresu wegetacyjnego w Polsce (1950—1964)
Fig. 13. The end of vegetation period in Poland (1950—1964)

Najwcześniej kończy się okres wegetacyjny w południowo-wschodniej Polsce oraz w okolicy Opola. Na przeważającym obszarze kraju okres wegetacyjny trwa do końca pierwszej dekady października. Ogólnie mówiąc, okres wegetacyjny w Polsce trwa od 185 dni na północnym wschodzie i na skrawku terenu południowo-wschodniej części, do 220 dni na ziemiach południowo-zachodnich.

Przełóżając uważnie terminy, na których opiera się struktura okresu wegetacyjnego, można dostrzec dość wyraźną zbieżność terminów początku okresu wegetacyjnego i czasu jego trwania, tak, że im okres wegetacyjny na danym terenie rozpoczyna się wcześniej, tym dłużej trwa. Spostrzeżenie to podyktowało wykonanie wykresu korelacyjnego w układzie współrzędnych prostokątnych z odłożonymi na osi x datami początku okresu wegetacyjnego, a na osi y długością tego okresu w dniach. Naniezione punkty na wykresie ułożyły się wzdłuż prostej:

$$y = -1,2x + 300,2$$

Prosta ta stała się istotną częścią nomogramu, z którego na podstawie daty początku okresu wegetacyjnego określamy czas trwania tego okresu (rys. 14). Z nomogramu tego wynika, że koniec okresu wegetacyjnego



Rys. 14. Nomogram czasu trwania okresu wegetacyjnego w Polsce
Fig. 14. Nomogram of the duration of vegetation period in Poland

charakteryzuje się zbyt wyrównanymi terminami, mało różniącymi się w poszczególnych punktach terenu. Niemniej nomogram może służyć do szybkiej oceny czasu trwania okresu wegetacyjnego oraz przypuszczalnej daty jego zakończenia już na początku tego okresu w danej dzielnicy, czy miejscowości. Oczywiście początek i koniec okresu wegetacyjnego winien być określany w sposób przyjęty w demonstrowanym opracowaniu, wówczas odchyłki od rzeczywistości będą najmniejsze.

OBSERWACJE FENOLOGICZNE W PROGNOZACH AGROMETEOROLOGICZNYCH

Bardzo ważną część prognoz agrometeorologicznych zajmują prognozy fenologiczne, których treścią jest przewidywanie terminów faz póź-

niejszych na podstawie wcześniejszych zjawisk rozwojowych rośliny. Przewidywania te wiążą zazwyczaj obserwacje fenologiczne z jednym, lub paroma elementami meteorologicznymi, przez korelację wartości tych elementów z interesującymi fazami w cyklu rozwojowym rośliny. Najczęściej dane fenologiczne wiążą z temperaturą powietrza i z opadem atmosferycznym.

Rachunkowe sposoby powiązania wartości elementów meteorologicznych z przebiegiem rozwoju rośliny są różne i rozmaita jest też sprawdzalność prognoz fenologicznych.

Dla przykładu prognozy fenologicznej przedstawimy interesujący sposób oparty na licznych materiale statystycznym sum temperatur, mierzonych od wartości 0°C wzwyż i danych fenologicznych rozwoju ziemniaka w Polsce [4]. W przykładzie tym przewiduje się termin zakwitania ziemniaków już w momencie ich wschodów.

Podstawą pracy jest wyprowadzona zależność pomiędzy wartością sumy temperatur od momentu wschodów do kwitnienia ziemniaków i długością tego międzyfazowego okresu. Ta miara długości wycinka cyklu rozwojowego ziemniaka wyrażona sumą temperatur oparta została na bardzo licznych materiale z woj. poznańskiego, warszawskiego, krakowskiego i białostockiego (rys. 15). Statystycznym obrazem tej zależności jest równanie:

$$y = 14,308x + 77,620$$

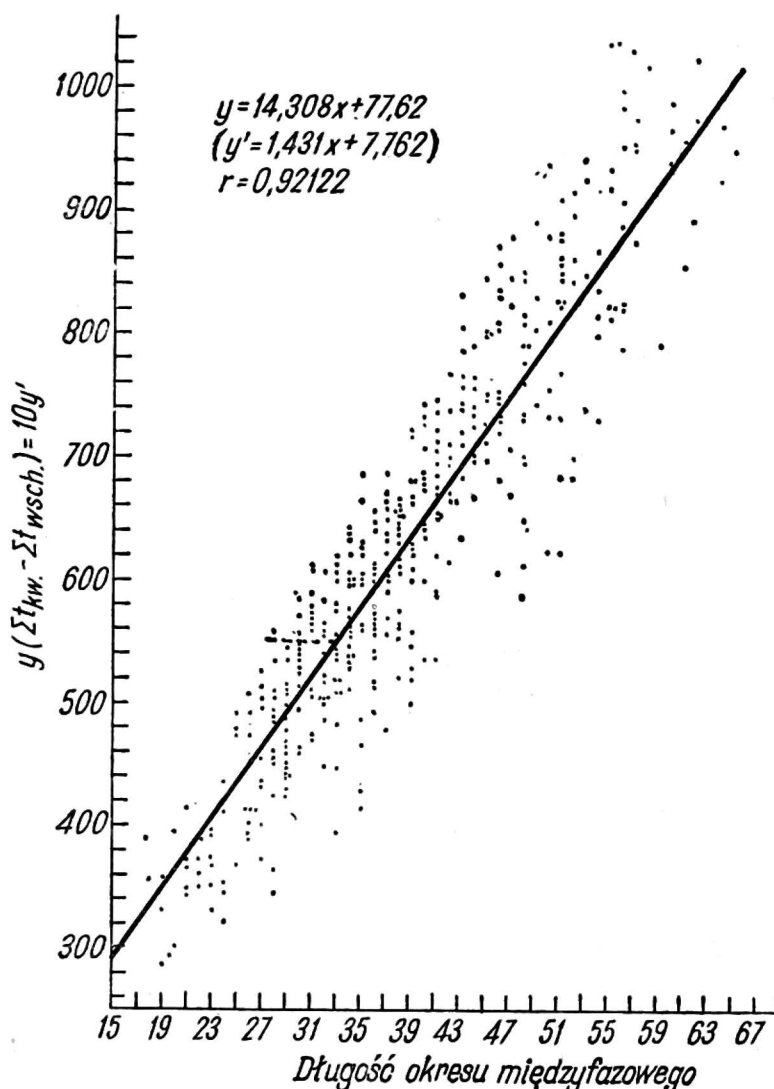
gdzie x jest zmienną długości okresu wschodu — kwitnienia w dniach, a y sumą temperatur z tego okresu. Współczynnik korelacji tych zmiennych był wysoki: $r = 0,9212$. Duża współzależność między sumą temperatur okresu od wschodów do kwitnienia ziemniaków i czasem trwania tego okresu wskazuje na to, że wycinek ten w cyklu rozwojowym ziemniaka jest jak gdyby okresem krytycznym w stosunku do potrzeb cieplnych, co zresztą zgadza się z poglądami rolników.

Po stwierdzeniu istnienia zależności istotnej terminów wschodów od sum temperatur, co jest oczywiste, przeprowadzono dowód istotnej zależności między sumami temperatur wschodów i sumami temperatur zakwitania. Współczynnik korelacji wynosił tu $r = 0,506$ przy liczbie zmiennych $n = 446$. Po tym dowodzie szukano zależności między datą wschodów ziemniaków i różnicą sum temperatur: $\sum t_{\text{kw.}} - \sum t_{\text{wseh.}}$. Duży rozrzut punktów na próbnym diagramie korelacyjnym tych dwu zmiennych, wziętych łącznie z woj. poznańskiego, warszawskiego, krakowskiego i białostockiego, zdecydował o traktowaniu stosunków w każdym województwie oddzielnie. Po stwierdzeniu istotności współczynników korelacji (woj. poznańskie — 0,321, warszawskie — 0,581, krakowskie — 0,421 i białostockie — 0,336) wyliczono proste regresji:

woj. poznańskie	$y = -4,716x + 1314,014$
„ warszawskie	$y = -7,208x + 1674,794$

woj. krakowskie	$y = -6,314x + 1533,702$
„ białostockie	$y = -5,238x + 1413,215$

w których x oznacza datę wschodów ziemniaków, a y — różnicę w sumach temperatur.



Rys. 15. Zależność sum temperatur okresu od wschodów do kwitnienia ziemniaka i czasu trwania tego okresu, dla województw poznańskiego, warszawskiego, krakowskiego i białostockiego, wg Z. Pieślak

Fig. 15. Interdependence of sums of temperature during the period from shooting to blooming of potatoes and the duration of this period in the voivodeships Poznań, Kraków and Białystok

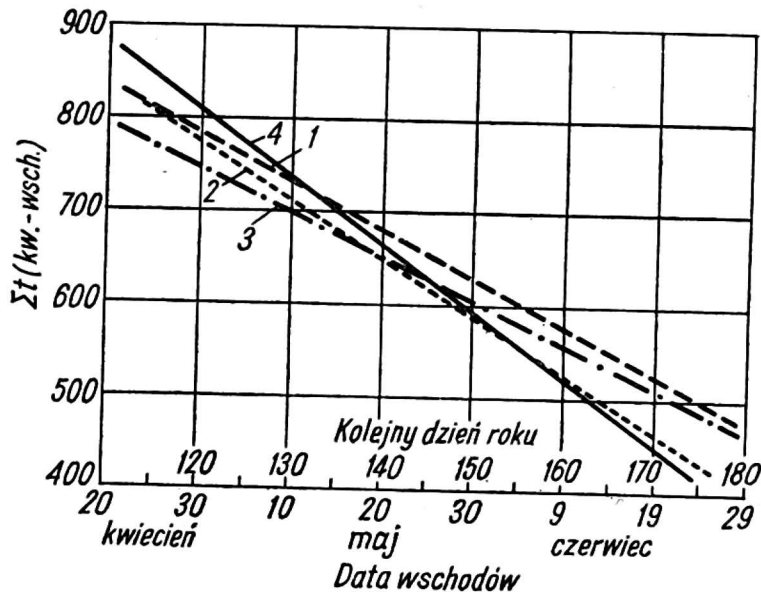
Otrzymane proste tworzą wykres pokazany na planszy (rys. 16). Wykres ten wraz z wykresem poprzednio omówionym, dają nomogram do wyznaczania terminów zakwitania ziemniaków na podstawie dat ich wschodów. W tym nomogramie wielkością wiążącą daty wiadome z terminami przewidywanymi, jest suma temperatur z okresu prognozowania:

$$\Sigma t_{kw.} - \Sigma t_{wsch.} = \Sigma t_{kw. - wsch.}$$

Mając np. dla woj. krakowskiego termin wschodów ziemniaków (24.V.), znajdujemy na wykresie (rys. 16) odpowiadającą tej dacie wartość na odciętej. Wynosi ona 624° i dla tej wartości odnajdujemy na wykresie (rys. 15) czas trwania fazy: wschody—kwitnienie. Wynosi ona 38 dni.

Stąd przewidywany termin zakwitania ziemniaków w woj. krakowskim: 24.V. + 38 dni = 1.VII.

Dokładność prognozy była sprawdzana na licznych przykładach obserwacji i wykazała różnice raczej paru, rzadziej kilku dni. Tak, że operując pentadami, prognoza byłaby dobrze sprawdzalna.



Rys. 16. Zależność różnicy sum temperatur $\Sigma t_{kw.} - \Sigma t_{wsch.}$ ziemniaków od daty wschodów (1 — Białostockie, 2 — Krakowskie, 3 — Poznańskie, 4 — Warszawskie) wg Z. Pieślak

Fig. 16. Interdependence of the difference of temperature sums $\Sigma t_{bloom.} - \Sigma t_{shoot.}$ of potatoes and the date of shooting (1 — v. Białystok, 2 — v. Kraków, 3 — v. Poznań, 4 — v. Warszawa)

Przedstawiono tu zaledwie parę opracowań agrometeorologicznych w których fenologia odgrywa zasadniczą rolę. Tematów tych w klimatologii i agrometeorologii jest bardzo dużo, nie tylko w literaturze zagranicznej, ale i w polskiej. Świadczy to o wielkim znaczeniu badań fenologicznych w zakresie tych nauk.

LITERATURA

1. Molga M., Sokołowska J.: Fenologiczne pory w roku w Polsce. Wiad. Służby Hydr. i Meteor. z. 55, Warszawa (1963).
2. Molga M.: Rozważania agrometeorologiczne o początku okresu wegetacyjnego w Polsce. Prze. geof. R. XII, z. 3—4 (1967).
3. Molga M.: Początek, koniec i czas trwania okresu wegetacyjnego w Polsce. Praca w archiwum PIHM (1967).
4. Pieślak Z.: Ocena sum temperatur jako wskaźnika agrometeorologicznego. Prz. geof. R. XII, z. 3—4 (1967).
5. Szafer W.: Zarys Ogólnej Geografii Roślin. PWN. Warszawa (1949).

STRESZCZENIE

Fenologia jest dzisiaj ważną gałęzią wiedzy w klimatologii i agrometeorologii. W pomiarach mikroklimatologicznych, gdzie przyrządy pomiarowe muszą być bardzo

czułe, ażeby mogły rejestrować wielką częstotliwość zmian w natężeniu poszczególnych elementów w miejscu pomiaru oraz drobne różnice w wartościach elementów rozmaitych punktów, często leżących w bliskim sąsiedztwie. Roślina użyta jako przyrząd pomiarowy ułatwia a często umożliwia pomiary mikroklimatyczne. Przyrządy-rośliny są o wiele dokładniejsze od jakichkolwiek instrumentów fizycznych. Rozwój rośliny jest procesem ciągłym, złożonym z nieskończonej ilości zmian, dlatego też ilość tych zmian w rozwoju organizmu rośliny, branych do obserwacji, decyduje o stopniu dokładności i czułości przyrządu-rośliny.

Obserwacje fenologiczne stanowią w klimatologii materiał kompleksowej metody badania klimatu, klimat jest bowiem pojęciem kompleksowym, w którym cały zespół elementów działa jednocześnie i poza rośliną-przyrządem nie ma takich przyrządów fizycznych, które rejestrowałyby ten kompleks elementów.

Fenologia stanowi niezmiernie istotny instrument w podstawowym problemie agrometeorologii wpływu warunków siedliskowych na organizmy roślin.

Obserwacje fenologiczne dają się kartować i służą przy rozwiązywaniu wielu zagadnień z zakresu rejonizacji klimatów, wydzielaniu siedlisk o różnych bonitacjach, określaniu tzw. okresów wegetacyjnych, wydzielaniu pór roku z przyrodniczego punktu widzenia itd.

W referacie autor podaje przykłady opracowań zagadnień klimatycznych i agrometeorologicznych za pomocą obserwacji fenologicznych.

Мариян Мольга

ЗНАЧЕНИЕ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КЛИМАТОЛОГИИ И АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Резюме

В настоящее время фенология стала важной научной дисциплиной облегчающей решение многих климатологических и агрометеорологических задач. Микроклиматические явления, как известно, характеризуются так большой частотой изменчивости интенсивности элементов измеряемых на одном и том-же наблюдательном посту как и небольшими разностями в значениях этих элементов на разных наблюдательных постах. Вот почему изучение микроклимата требует весьма чувствительных приборов. Растение применяемое в качестве прибора облегчает работу микроклиматологов так как „растение-прибор” гораздо чувствительнее всяких физических инструментов. Развитие растения это сложный процесс подверженный бесконечно большому числу трансформаций (этапов). Число этапов (фаз), охваченных наблюдениями, определяет степень точности и чувствительности „прибора-растения”.

Фенологические наблюдения доставляют материал для изучения климата комплексным методом, в данном случае самым соответствующим методом, так как климат понятие комплексное. Тут весь комплекс элементов действует совокупно и этого действия кроме растения не регистрирует никакой иной прибор.

Фенология играет первоначальную роль в основной агрометеорологической проблеме — в изучении влияния условий среды на организм растения.

Картографированными фенологическими данными широко пользуются при решении вопросов связанных с районированием климата, при оценке биологического потенциала растительной среды, при установлении длительности вегетационного периода, фенологических сезонов и пр.

В докладе приведены примеры использования фенологических наблюдений для решения климатологических и фенологических задач.

Marian Molga

SIGNIFICANCE OF PHENOLOGICAL RESEARCH IN CLIMATOLOGY AND AGROMETEOROLOGY

Summary

Phenology is today a branch of science of considerable importance in climatology and agrometeorology. In microclimatological research measuring devices can be very sensitive in order to register on the spot the high frequency of changes in the intensity of particular elements and also small differences in values of elements at particular places lying often in nearly neighborhood. Plant used as a measuring device makes microclimatic measurements easier and often — possible. Plant "device" is much more precise than any instrument, whatever. Plant development process is a continuous process undergoing many changes. The greater the number of these changes, otherwise of shorter developmental separate phases observed in a plant, the more accurate will be the plant "device".

In climatology phenological observations constitute a complex method to study the climate, as climate is a complex notion where the whole conjunction of elements acts simultaneously and beyond the plant "device" there are no physical instruments suitable to register this complex of elements.

Phenology is of considerable importance in agrometeorology, particularly its basic problem i.e. the influence of habitat on plants' organisms.

Phenological observations can be mapped. They are of great services in solving numerous practical problems of agrometeorology like regionalization of climatic conditions, classification of habitats, determination of vegetation period, partition of the year into seasons from naturalist's viewpoint etc.

Author quotes some methods of solving climatic and agrometeorological problems by means of phenological observations.