

UWAGI NA TEMAT METODYKI DOŚWIADCZEŃ POLOWYCH W TERENACH ERODOWANYCH

JERZY KRZYMUSKI

Katedra Ogólnej Uprawy Roli i Roślin WSR w Olsztynie

WSTĘP

W numerze pierwszym Postępów Nauk Rolniczych z roku 1955 K. Roguski w artykule pt. „O metodę zakładania doświadczeń na terenach nierównych” poruszył zagadnienie braku odpowiedniej metodyki ścisłych doświadczeń polowych dla rejonów o urozmaiconym ukształtowaniu powierzchni. Autor obok podanych w tym artykule fragmentarycznych wskazówek technicznych miał przede wszystkim na celu zapoczątkowanie dyskusji, która wypełniłaby ten poważny brak w naszym doświadczalnictwie.

W Zakładzie Ogólnej Uprawy Roli i Roślin WSR w Olsztynie z inicjatywy i pod kierownictwem prof. dr W. Niewiadomskiego od szeregu lat (1951) prowadzi się ściśle doświadczenia polowe w terenie falistym podlegającym zmywom. Brak zarówno teoretycznych, jak i praktycznych wskazówek zmuszał do wypracowania własnych form metodycznych, dostosowanych do specyfiki ekologicznej tych mało zbadanych krain rolniczych. Zdobyte w tym zakresie doświadczenie w połączeniu z niektórymi teoretycznymi uzupełnieniami jest przedmiotem niniejszego artykułu.

TRUDNOŚCI I CEL ZAKŁADANIA DOŚWIADCZEŃ W TERENACH O UROZMAICONEJ RZEźBIE

Jedną z najważniejszych zasad, decydującą o wartości ścisłych doświadczeń polowych, jest jak wiadomo ich reprezentatywność. Przed wojną zasada ta nie była w sposób dostateczny przestrzegana. Zakłady Doświadczałne lokalizowano przeważnie na glebach lepszych, nieraz znacznie różniących się od przeciętnych danego rejonu. Wyniki uzyskiwane z tych doświadczeń, przeniesione na pola produkcyjne mogły nie znaleźć potwierdzenia. Powojenny rozwój doświadczalnictwa wystrzegał się tych błędów zwracając baczną uwagę na typowość posado-

wienia przyszłego obiektu doświadczalno-badawczego dla reprezentowanego przezeń rejonu.

Jednak w terenach urzeźbionych zagadnienie to pozostaje nadal nie rozwiązane. Istniejące tam punkty doświadczalne wybierają pod doświadczenia pola najbardziej płaskie, często wierzchowiny i podnóża, a w rzadkich tylko wypadkach łagodniejsze stoki. Jest to spowodowane dążeniem do uniknięcia trudności, na jakie napotyka doświadczalnik w tych warunkach. W pierwszym rzędzie tereny o urozmaiconej rzeźbie charakteryzują się przeważnie znacznie większą zmiennością glebową tak systematyczną dwukierunkową, jak i trudniejszą do wyeliminowania fluktuacyjną. Różnorodność siedliska wywołaną zmiennością glebową, potęgują różnice mikroklimatyczne tak charakterystyczne dla terenów urzeźbionych. Zjawiska te szczególnie jaskrawo występują na utworach polodowcowych województwa olsztyńskiego, gdzie zmienność glebowa nawet na terenach względnie równych występuje w dużym nasileniu. Często na optycznie wyrównanym polu zachodzą znaczne odchylenia w plonowaniu roślin, na przestrzeni kilku lub kilkunastu metrów, a zatem w ramach jednego powtórzenia. Powszechnie stosowane metody doświadczalne nie eliminujące zmienności wewnątrzblokowej, często okazują się w tych warunkach nieskuteczne, szczególnie przy większej ilości porównywanych obiektów.

Również techniczna strona zakładania doświadczeń polowych w terenach urzeźbionych jest znacznie trudniejsza. Wynika ona z braku odpowiednich, przystosowanych do tych warunków narzędzi i maszyn, wzrostu oporów przy wykonywaniu prac agrotechnicznych, niskiej kwalifikacji kadr technicznych i fizycznych zatrudnionych w doświadczalnictwie. Większy nakład czasu pracy ręcznej i sprzężaju oraz kapitału w połączeniu z ryzykiem nieudania się doświadczeń wskutek niszczącego działania erozji wodnej, odstrasza doświadczalnika od pracy w tak uciążliwych warunkach.

Uwzględniając te w zasadzie słuszne zastrzeżenia nie można jednak pod żadnym pozorem rezygnować z objęcia omawianych terenów pracami doświadczalnymi. Przeciwnie, jest to koniecznością wynikającą z dwóch zasadniczych przyczyn. Po pierwsze warunki siedliska terenów urzeźbionych charakteryzują się dużą zmiennością i odrębnością w odniesieniu do powierzchni płaskich. Poznać siedlisko i jego sprawność wytwórczą można jedynie przez bezpośrednie badania. Jeżeli w rejonach o przewadze powierzchni falistej założymy doświadczenia na polach równych, to wyniki ich nie będą miarodajne dla całości obszaru. Np. w często spotykanych doświadczeniach na wododziałach, szczególnie w suche lata, najlepsze rezultaty dadzą rośliny (odmiany) o cechach

kserylnych, względnie zabiegi agrotechniczne zabezpieczające ekonomiczną gospodarkę wodną. Przeciwstawne wyniki osiągnię się w wilgotniejsze lata w zagłębieniach terenu. Również i doświadczenia założone na polach płaskich o nieokreślonej sytuacji względem otaczających fałistości nie będą reprezentować całości obszaru, lecz tylko te nieliczne płaszczyzny.

Druga przyczyna jest bezspornie ważniejsza. W Polsce, jak wynika z badań A. Reniger, ponad 20% obszaru użytkowanego rolniczo, podlega wskutek urzeźbienia procesom spływu, zmywu i namywu. Dotkliwie odczuwany tam przez praktykę brak opracowania właściwej agrotechniki, powinien być jak najszybciej uzupełniony. W pracy tej zachodzi konieczność posługiwania się ścisłymi doświadczeniami polowymi o właściwie opracowanej metodyce badań.

URZEŻBIENIE I TEMAT DOŚWIADCZENIA DECYDUJĄ O METODYCE

Metodyka badań będzie miała odmienny charakter w zależności od: 1) rodzaju rzeźby terenu i 2) opracowywanego zagadnienia agrotechnicznego.

Każde bowiem wzniesienie bez przesady stanowi oddzielną jednostkę fizjograficzną; stosunki siedliska mogą diametralnie różnić się od występujących na innych, nawet tuż z nim sąsiadujących. Ponieważ przebadanie każdej jednostki jest niepodobieństwem technicznym, przeto zachodzi konieczność wydzielenia pewnych charakterystycznych typów, profili i gleb. Naturalnie badania te nie mogą się ograniczyć do nielicznych jednostek, lecz winny przybrać charakter doświadczeń wielokrotnych. Podział pagórka, wzgórza względnie góry na strefy różniące się warunkami siedliska, stanowić będzie również podstawę dla zróżnicowania strefowego agrotechniki, o ile charakter urzeźbienia na to pozwoli. Podział ten może się odnosić do większości lub tylko niektórych zabiegów agrotechnicznych. Np. nawożenie lub uprawę mechaniczną można zróżnicować nawet na niewielkich powierzchniach, a więc na małych pagórkach o krótkich zboczach. Natomiast stosowanie na poszczególnych strefach wzgórza odmiennych zmianowań jest możliwe jedynie przy długich stokach pozwalających na wydzielenie pól wstęgowych. To samo dotyczy ilości stref na które należałoby podzielić dane wzgórze. Pagórki o krótkich zboczach trudno jest często podzielić nawet na trzy zasadnicze strefy — podnóże, zbocze i wierzchowina. Na wzniesieniach o długich ciągnących się nieraz kilka kilometrów stokach, które charakteryzują rejony górskie, możemy wydzielić ich znacznie więcej.

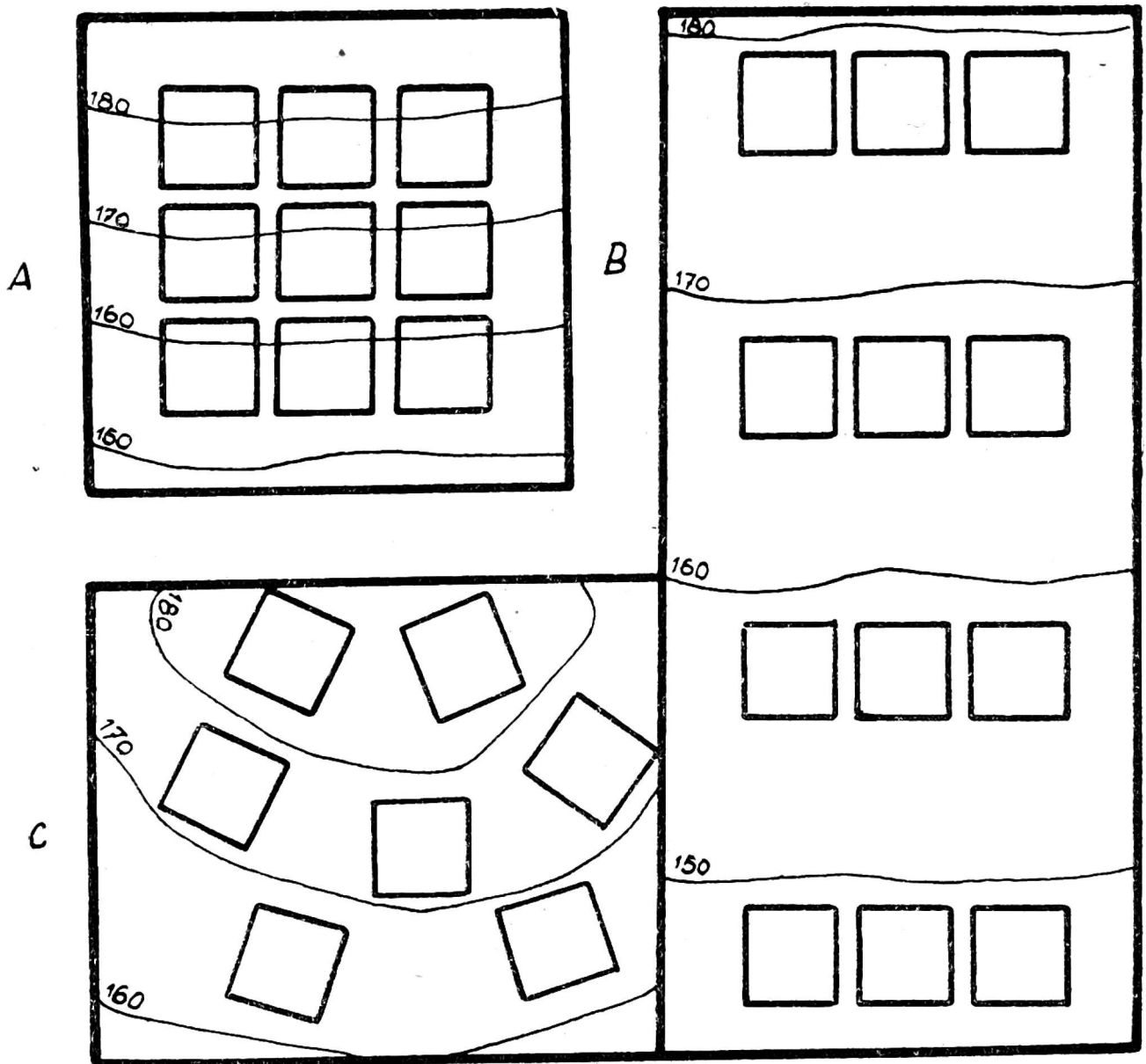
Układ polowego doświadczenia jest przede wszystkim uzależniony od rzeźby terenu, zatem głównie długości spadku i typu profilu (skarpa,

pagórek itp.). Na krótkich zboczach staramy się objąć doświadczeniem całe wzniesienie, rozmieszczając poletka w kierunku prostopadłym do warstw. Ilość wydzielonych stref zależy od długości spadku i jakości poletek. Jeżeli stosujemy pasy ochronne między członami poszczególnych stref (co nie zawsze jest konieczne), nie powinny być one szerokie. Doświadczenia tego typu nazywać będziemy ciągłymi, gdyż odległości między porównywanymi obiektami poszczególnych stref są stosunkowo niewielkie. Wzgórza o długim spadku trudno jest objąć doświadczeniem w całości, gdyż powierzchnia jego byłaby zbyt duża. Trzeba więc ograniczyć się tu do wydzielenia na poszczególnych strefach typowych odcinków i tylko te badać (np. region górski). Odległość między nimi (przerwy między członami) będzie nieraz dość znaczna i dlatego nazwiemy je nieciągłymi. Zasadniczo zawsze powinno się dążyć do założenia doświadczenia ciągłego, jednak na zboczach o długości przekraczającej 200 m, jego koszt i trudności techniczne będą zbyt duże. Nieciągłymi będą również doświadczenia zakładane na wzgórzach typu pagórka, gdy poszczególne ich człony (bloki) umieścimy na różnych wystawach (rys. 1).

Metodyka badań zmienia się również w zależności od opracowywanego zagadnienia agrotechnicznego. Dla terenów urzeźbionych zależność ta wyraża się przede wszystkim koniecznością lub zbytecznością porównywania obiektów oddzielnie dla poszczególnych stref wzniesienia. Obiekty porównywane w doświadczeniach uprawowych, nawozowych i płodozmiennych odznaczają się wzajemnym silnym oddziaływaniem siedliska i badanego zabiegu. Zagadnienie zbadania różnego ich działania w poszczególnych strefach będzie jednym z ważniejszych. Ze względu na bardziej złożoną metodykę tych doświadczeń zaliczymy je do grupy trudniejszych.

Badanie przydatności różnych odmian dla terenów urzeźbionych polegać będzie przede wszystkim na stwierdzeniu, które z nich okażą się najplenniejsze w przekroju całego wzgórza. Różnice w plonowaniu na poszczególnych strefach nie mają w tym wypadku większego znaczenia, gdyż praktycznie na tak niewielkich powierzchniach trudno zrejonizować więcej niż jedną odmianę. Nawet przy długich wzniesieniach umożliwiającym wydzielenie pól wstęgowych, różnice w doborze roślin uprawnych ograniczą się do poszczególnych gatunków. Również i oddziaływanie poszczególnych odmian na siedlisko wzgórza będzie bardzo zbliżone, nie zachodzi więc konieczność strefowego ich badania. W związku z tym metodyka doświadczeń odmianowych znacznie się uprości i zaliczymy je do grupy łatwiejszych.

Jeszcze jedna ogólna zasada doświadczalnictwa terenów urzeźbio-



A – doświadczenia ciągłe

B i C – doświadczenia nieciągłe

Rys. 1

nych, która musi być przestrzegana w większym stopniu niż na równinach. Nie można ograniczać się do zbadania jednorocznego efektu danego zabiegu, lecz trzeba koniecznie śledzić jego działanie następcze. Przyspieszenie lub hamowanie erozji wodnej decyduje o skuteczności zastosowanego zabiegu agrotechnicznego. Tymczasem poznanie zmian natężenia erozji wymaga dłuższego okresu, tym bardziej, że w poszczególnych latach czynniki klimatyczne wpływające na nią występują w różnym nasileniu. Z tej racji większość doświadczeń na terenach erodowanych będzie z reguły wieloletnimi, statycznymi.

UWAGI O METODYCE ZAKŁADANIA DOŚWIADCZEŃ W TERENACH ERODOWANYCH

Omówienie technicznej strony zakładania doświadczeń rozpocznie od niektórych ważniejszych momentów jak: a) wybór pola doświadczal-

nego, b) położenie poletek w odniesieniu do spadku, c) ilość powtórzeń, d) wymiary poletek, e) ścieżki i pasy ochronne.

Wybór pola jest sprawą trudną i zawsze decydującą o udaniu się doświadczenia w sensie pozyskania miarodajnych liczb. Komplikuje się ona w terenach urzeźbionych, gdzie mamy do czynienia z jego nierównością oraz większą zmiennością glebową i mikroklimatyczną. Przez teren doświadczenia nie powinny przebiegać główne linie spływu wód. Powierzchnia jego nie może być „zwichrowana” (o wielu ekspozycjach), gdyż wtedy prawidłowe rozmieszczenie poletek napotyka na zbyt wielkie trudności. Baczność uwagę zwrócić należy na większe zmywy lub namywy gleby występujące na polu. Często mogą być one stare i trudno rozpoznawalne skutkiem uprawy i szaty roślinnej. Strefy wzniesienia, szczególnie trzy podstawowe, powinny być dobrze i typowo wykształcone dla badanej krainy fizjograficznej. Należy przeto zwrócić szczególną uwagę na typowość wzniesienia dla badanego rejonu, uwzględniając jego glebę, ekspozycję, kąt nachylenia, długość i profil. Ponieważ przeważnie cechy te są zmienne, nie należy więc ograniczać się do badań jednego typu wzniesienia, lecz wybierać w miarę możliwości najczęściej spotykane i charakterystyczne dla badanego krajobrazu. Celowe okazać się może w roku poprzedzającym właściwe badania, założenie na wybranym polu doświadczenia ślepego, które znacznie ułatwi prawidłowe rozmieszczenie poletek, umożliwiając uniknięcie większych nietypowych zmienności glebowych.

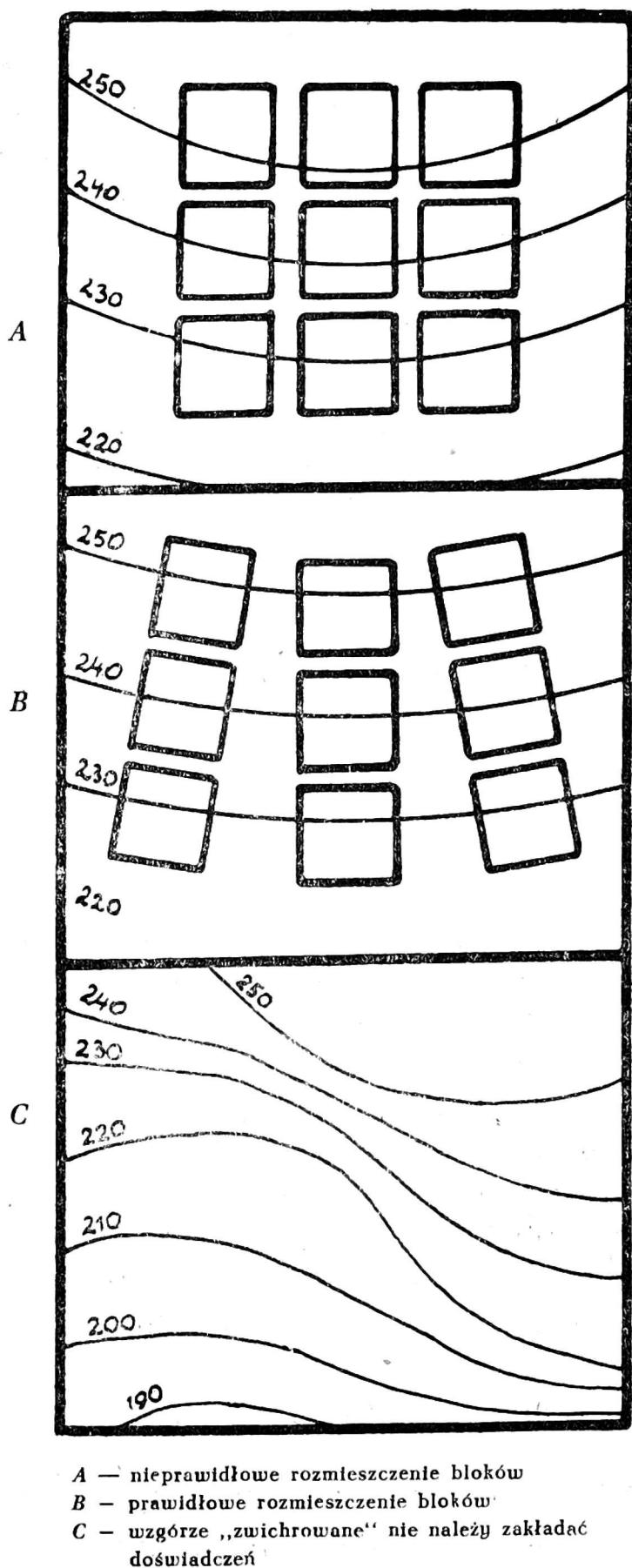
Układ poletek zależny będzie od kierunku spadku i winien w maksymalny sposób zapewnić im jednakowe warunki w stosunku do procesów spływu, zmywu i namywu. Dlatego też rozplanowanie doświadczenia w terenie powinno poprzedzić sporządzenie planu warstwicowego. Gdy warstwice ułożą się w postaci równoległych linii prostych, poletka będą równoległe do siebie. W innych wypadkach rozmieszczenie poszczególnych bloków (powtórzeń), a nieraz i poletek musi być dostosowane do nierówno przebiegających warstwic (rys. 2). Zasadę do której jeszcze powrócę, jest równoległość osi podłużnej poletek do kierunku spadku.

Powszechnie w doświadczalnictwie wiadomo, iż zwiększenie ilości powtórzeń podnosi dokładność doświadczenia. Powinna ona być tym większa, im bardziej niejednolite jest pole, co właśnie cechuje tereny urzeźbione. Z drugiej strony charakter wzgórza często ogranicza możliwość zwiększenia powierzchni doświadczenia. Na przykład zakładając je w 3 strefach (podnóże, zbocze, wierzchowina) i 4 powtórzeniach mamy właściwie $3 \times 4 = 12$ powtórzeń. Trudno zastosować tu ścisłą regułę, gdyż każdorazowo mamy do czynienia z innymi warunkami i możliwo-

ściami. Sądzę że w większości wypadków 4—5 powtórzeń powinno wystarczyć, nie należy jednak bezwarunkowo schodzić poniżej trzech (przy doświadczeniach ścisłych).

Powierzchnia i wymiary poletek zależą będą od charakteru wzniesienia i tematu doświadczenia. Powierzchnia nie powinna różnić się zasadniczo od normalnie stosowanej na terenach płaskich, tendencją jednak będzie iść raczej w kierunku jej zmniejszenia. Trzeba tu zaznaczyć, że przy dużej zmienności glebowej dobrze jest eliminować ją zwiększając ilość powtórzeń kosztem powierzchni poletek. Jednak duża ilość powtórzeń i małe poletka znacznie zwiększają trudności techniczne założenia doświadczenia (uprawowe), o czym będzie mowa w dalszej części niniejszego artykułu.

Stosunek długości do szerokości poletek powinien być z uwagi na dużą zmienność glebową dość szeroki. Jednak przy doświadczeniach uprawowych, płodozmiennych i nawozowych, poletka nie mogą być zbyt wąskie, szczególnie jeśli równocześnie, a tak być powinno, przeprowadza się badania natężenia erozji.



Rys. 2

Ścieżek biegnących zgodnie ze spadkiem nie powinno być wcale, gdyż wskutek braku roślinności ułatwiąc będą spływ wody i potęgować erozję, co spowoduje w krótkim czasie utworzenie się głębokich wyrw.

Między poszczególnymi poletkami o ile to możliwe, należy stosować pasy ochronne biegnące w kierunku zgodnym ze spadkiem. Najlepiej gdy będą one zadarnione, o szerokości 2—3 m. Mają one na celu ochronę sąsiadujących poletek przed bocznym spływem wód powierzchniowych i nadanie im kierunku zgodnego z równoległą do spadku osią poletek. Przy niektórych doświadczeniach ciągłych należy stosować między poszczególnymi strefami pasy ochronne biegnące poprzecznie do spadku o szerokości od 3—5 m. Nazwać je możemy chwytnymi, gdyż osłabiają natężenie spływu i erozji.

Poruszę obecnie pewne charakterystyczne momenty metodyki doświadczalnej terenów urzeźbionych rzutujące na stosowanie różnych schematów i sposobów obliczeń doświadczeń. Zakładając doświadczenie na wzniesieniu i wydzielając strefy (podnóże, zbocze, wierzchowina) w których porównywane obiekty są kilkakrotnie powtórzone, mamy właściwie kilka doświadczeń. Różnice między poszczególnymi członami w różnych strefach mogą być nieraz większe niż między doświadczeniami (o jednakowych obiektach) założonymi w odległych od siebie miejscowościach, lecz o podobnych warunkach klimatyczno-glebowych. Każde w ten sposób założone doświadczenie na wzniesieniu można zatem potraktować jako wielokrotne. Z drugiej strony stanowią one ściśle powiązaną ze sobą jedną całość. Dodatkową zmienną wprowadzoną różnicowaniem warunków siedliska w poszczególnych partiach profilu, można uznać za nowy obiekt (czynnik). Każde więc doświadczenie proste, w którym porównujemy jeden, sztucznie wprowadzony czynnik, założone na wzniesieniu, będzie w istocie doświadczeniem dwuczynnikowym, czyli kombinowanym. Jeśli np. sztucznym czynnikiem będą dwa sposoby orki, płytki i głęboka, w doświadczeniu założonym w 3 strefach wzgórza, będziemy mieli 6 kombinacji: orka płytki na podnóżu, orka płytki na zboczu itd. Doświadczenie z dwoma sztucznie wprowadzonymi czynnikami będzie w tych warunkach 3-czynnikowym itd. Nowy obiekt, który nadaje każdemu doświadczeniu charakter kombinowanego nazwiemy, w odróżnieniu od czynników (obiektów) sztucznie wprowadzonych — naturalnym. Rozpatrując jego działanie za pomocą analizy statycznej trafiamy na pewne trudności, gdyż ułożenie obiektu naturalnego jakim jest rzeźba terenu jest od nas niezależne.

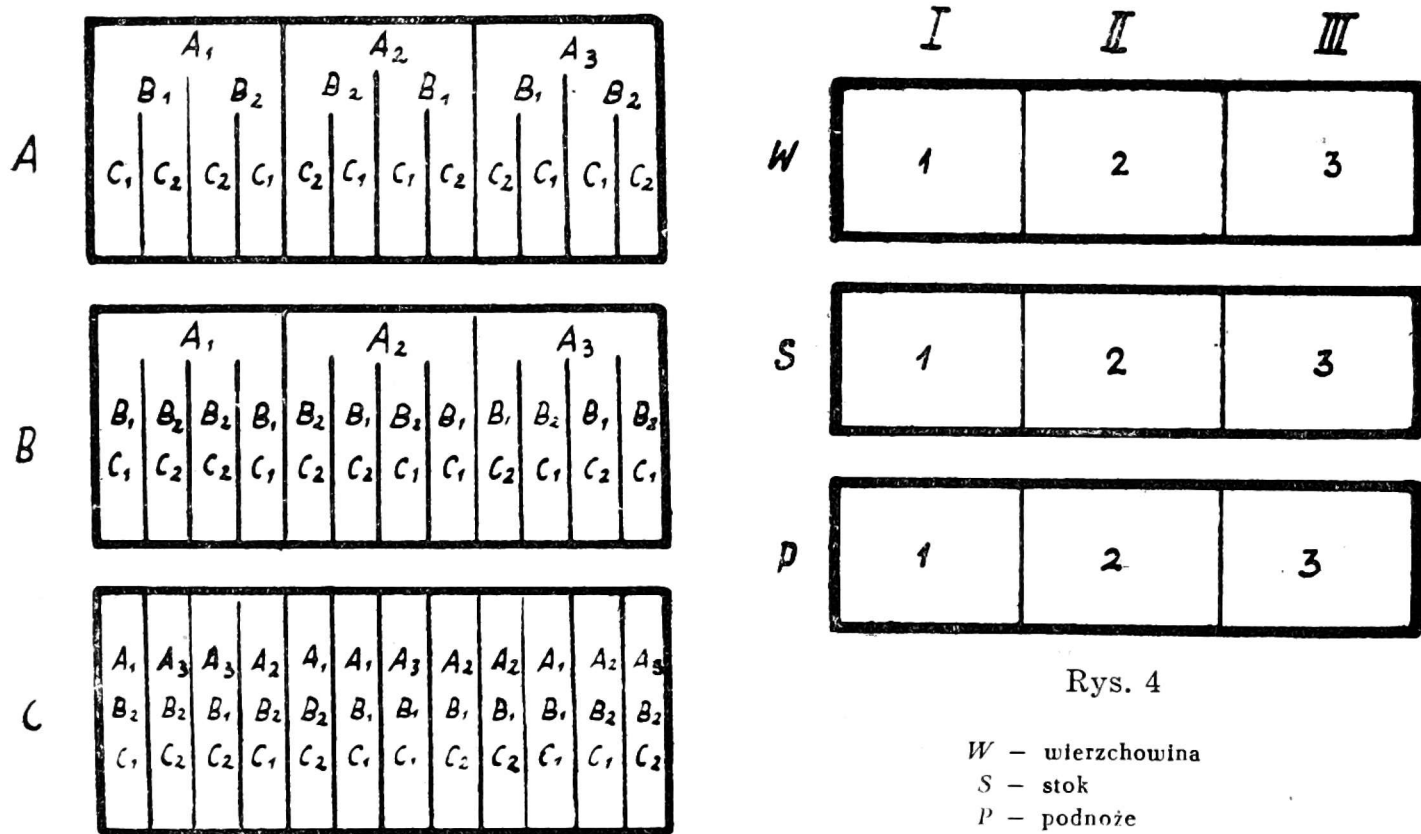
Omówione cechy doświadczeń nie przesądzają jednak o podobieństwie poszczególnych ich schematów. Duża różnorodność urzeźbienia poszczególnych rejonów Polski, jak i zagadnień agrotechnicznych koniecznych do rozwiązania, nie pozwala poprzestać na 1—2 schematach doświadczeń, zmuszając do stosowania różnych wariantów. Rozpatrzmy je według przeprowadzonego wyżej podziału na mniej i więcej trudne.

Doświadczenia odmianowe obejmować powinny przynajmniej 3—4 powtórzenia, 3 zasadnicze lub więcej stref wzniesienia. Poszczególne obiekty (odmiany) w każdym powtórzeniu winny być rozlosowane, dłuższe boki poletek równoległe do spadku, kształt, w miarę możliwości jak najbardziej wydłużony. Na krótkich zboczach celowym będzie założyć doświadczenie metodą kwadratu łacińskiego Fischera, która posiada zaletę dwukierunkowego eliminowania zmienności glebowej. Ponieważ w łacińskim kwadracie ilość obiektów równa się ilości powtórzeń, zastosowanie go będzie dość ograniczone. Przy większej ilości odmian (rodów) porównywanych w doświadczeniach hodowlanych, zmienność glebową wzniesienia dobrze eliminować mogą układy kratowe.

Doświadczenia agrotechniczne zaliczone do grupy trudniejszych, muszą być bardziej skomplikowane, celem uchwycenia zmienności wzniesienia. Jak wyżej wspomniano będą to doświadczenia kombinowane o różnych układach. Ważnym ich zadaniem będzie zbadanie interakcji (współdziałania) między sztucznie wprowadzonymi czynnikami, a obiektem naturalnym, to jest strefami wzniesienia. Przy nieistotnej (nie udowodnionej) nie stwierdzamy zależności między efektem porównywanych zabiegów agrotechnicznych, a rzeźbą terenu. Gdy jest ona istotna, mamy dowód na odmienną reakcję zastosowanych czynników w poszczególnych strefach, a zatem zachodzi konieczność przeanalizowania możliwości ich zróżnicowania w praktyce rolniczej. Ma to szczególne znaczenie przy urzeźbieniu (przeważnie dłuższe zbocza), w którym wydzielenie stref i zastosowanie na nich odmiennych zabiegów agrotechnicznych nie natrafia na poważniejsze trudności.

Jak wiadomo, doświadczenia kombinowane mogą być zakładane w układach: zależnym i niezależnym, względnie częściowo zależnym. Różnice między nimi objaśnia rys. 3. W doświadczeniu gdzie jednym z porównywanych czynników będą obiekty naturalne, każdy układ będzie częściowo lub całkowicie zależny. Strefy wzniesienia leżą w ściśle określonym miejscu pola doświadczalnego i niemożliwością jest niezależne rozlosowanie ich na poszczególnych poletkach. Należy się również zastanowić czy nasze obiekty naturalne można potraktować jako podbloki umieszczone wewnątrz bloków (powtórzeń). Zakładając doświadczenia w kilku powtórzeniach na każdej strefie, dzielimy strefy na bloki, a nie odwrotnie, czyli obiekty naturalne będą porównywane w jednym powtórzeniu. Możemy jednak uważać za powtórzenie, bloki poszczególnych stref leżące na jednej linii równoległej do spadku. Np. wydzielając w 3 strefach wzgórza 3 powtórzenia, mamy 9 bloków: I, II, III podnóża, I, II, III stoku i I, II, III wierzchołki (rys. 4). Bloki I podnóża, I stoku i I wierzchołki stanowią I powtórzenie na-





Rys. 4

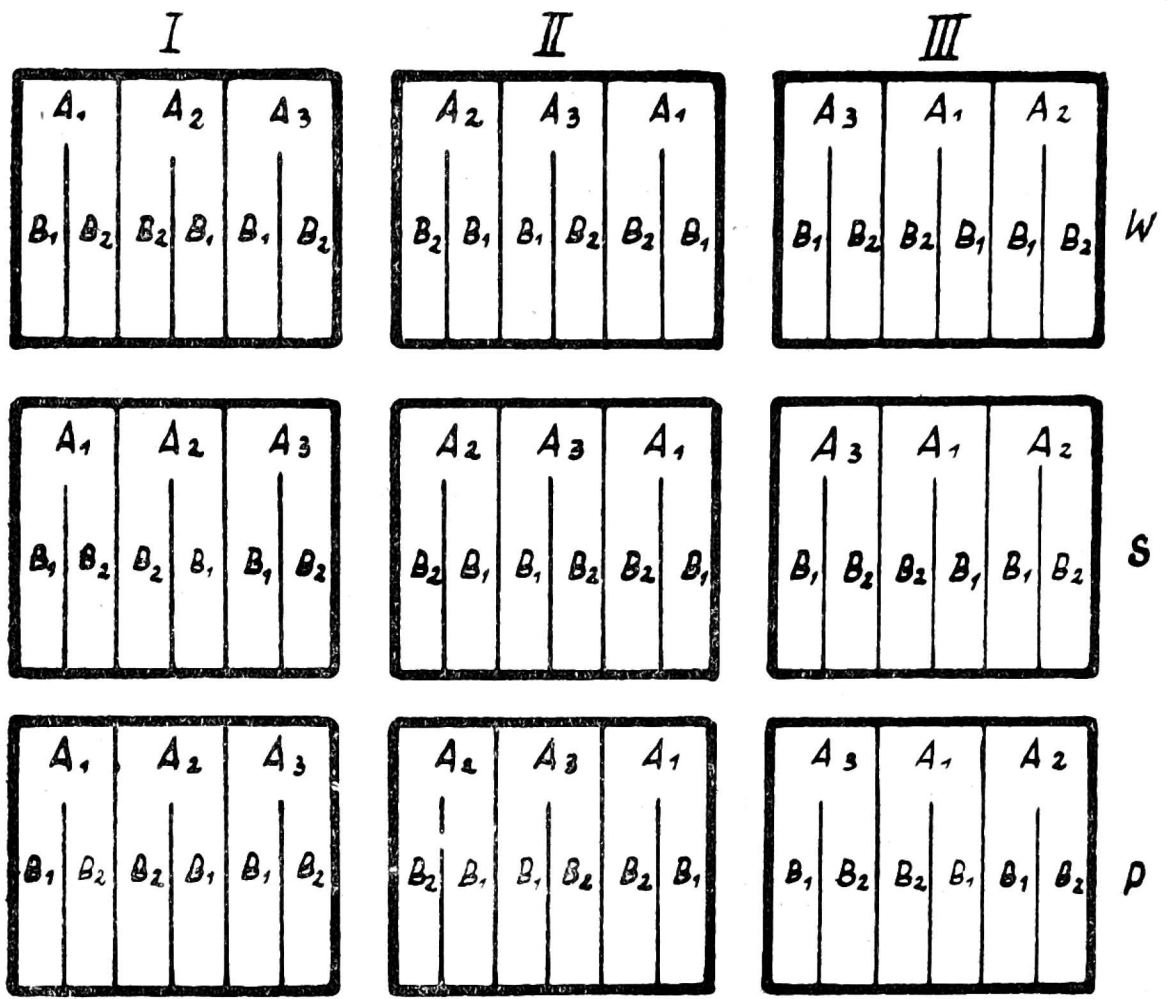
W - wierzchowina
 S - stok
 P - podnoże
 I, II, III - powtórzenia

Rys. 3. Czynniki porównywane w doświadczeniu

A - układ zależny
 B - układ częściowo zależny
 C - układ niezależny

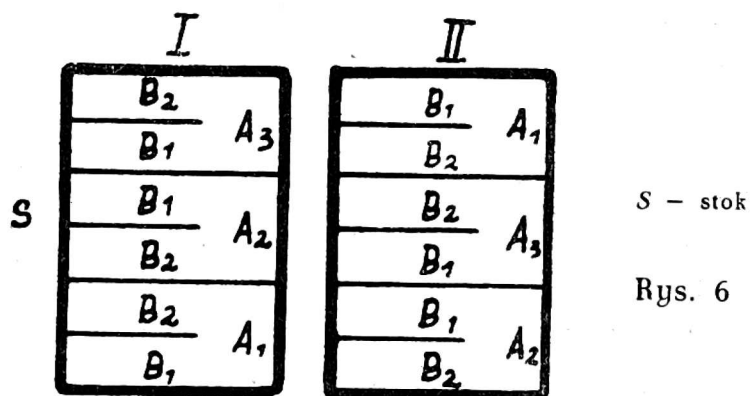
szego doświadczenia. Strefy wzniesienia będą w tym wypadku podoblokami umieszczonymi wewnątrz powtórzeń. Systematyczne ich ułożenie w związku z kierunkową zmiennością (wzdłuż spadku) byłoby dużą wadą gdyby chodziło nam o jej eliminowanie. Jest ona jednak obrazem różnorodności siedliska wzniesienia, którą chcemy zbadać w doświadczeniu.

Przechodząc do omówienia sposobów rozmieszczenia w doświadczeniach czynników sztucznie wprowadzonych, trzeba nadmienić, że w porównaniu z terenami płaskimi obowiązywać tu będą nieco inne zasady. Rozpatrzmy je na przykładzie jednego doświadczenia ciągłego, starając się udowodnić jego poprawność. Na rys. 5 przedstawiony jest schemat doświadczenia założonego w 3 powtórzeniach na 3 strefach wzniesienia. Porównujemy w nim dwa sztucznie wprowadzone czynniki. Pierwszy (A) składa się z trzech obiektów, przypuśćmy, że są to różne sposoby uprawy mechanicznej, np. A_1 — uprawa głęboka, A_2 — normalna i A_3 — płytka. Druga (B) niech dotyczy różnych terminów siewu porównywanej rośliny, np. B_1 — siew wczesny, B_2 — siew późny. Z rysunku widać że na każdej strefie poletka ułożone są w jednym rzędzie, dłuższym bokiem równoległe do spadku. Układ poletek prostopadły do spadku (dłuższy bok) również w jednym rzędzie spowoduje nadmierne rozciągnięcie doświadczenia, a także nie obejmie całych stref wzgórza,



W - wierzchovina
 S - stok
 P - podnóże

Rys. 5



Rys. 6

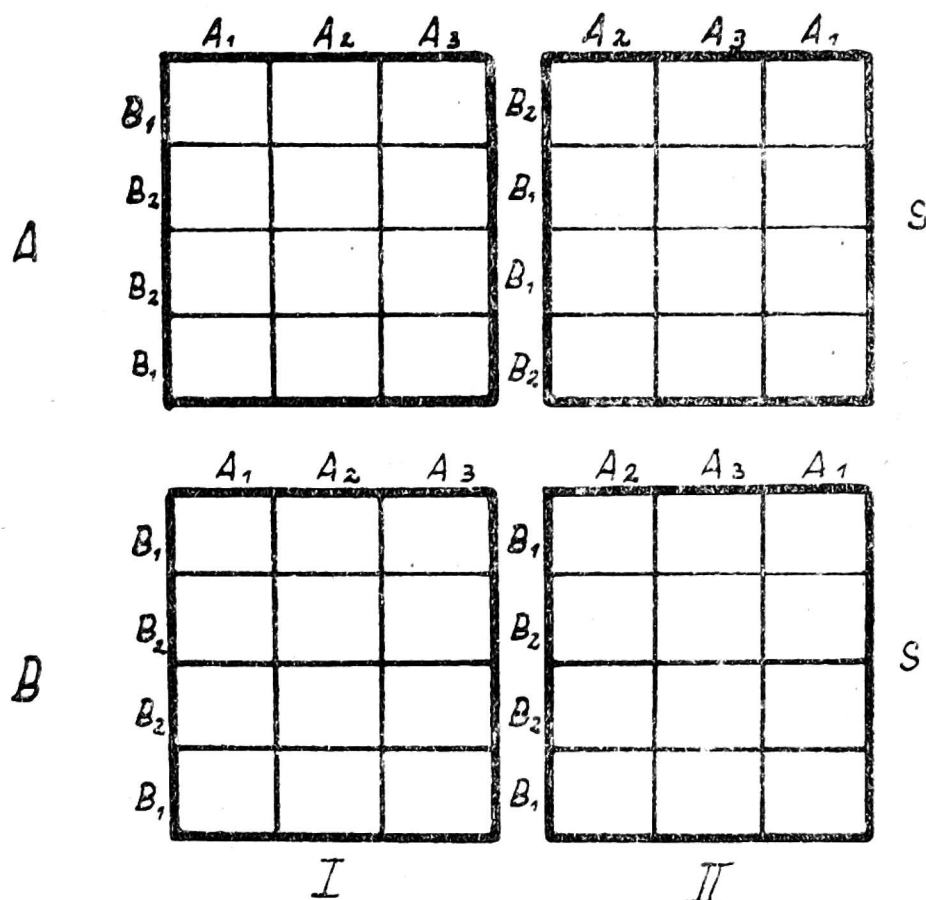
lecz tylko ich niewielką część. Inny układ możemy uzyskać obracając o 90° poszczególne powtórzenia każdej strefy (rys. 6). Wtedy poletka znajdują się na nich w kilku rzędach prostopadle do spadku. Niewłaściwość takiego układu polega na zmiennych warunkach środowiska każdego poletka (położenie na różnych warstwicach), wynikających z rzeźby terenu. Kombinacja A₁B₁ znajdująca się w pierwszym powtórzeniu na samym dole zbocza ma inne warunki niż umieszczona na jego górze

A₃B₂. W drugim powtórzeniu A₁B₁ będąc znacznie wyżej położona, nie jest właściwie tą samą kombinacją (z I powtórzenia), gdyż w mniejszym lub większym stopniu zmienia ją czynnik rzeźby. Zmienność tę potęgują znajdujące się wyżej kombinacje zawierające niejednakowe obiekty, różniące się oddziaływaniem na natężenie erozji, a tym samym na warunki siedliska niżej położonych poletek.

Ta ostatnia przyczyna spowodowała, że w schemacie naszego doświadczenia, jednakowe kombinacje ułożone są w całości wzgórza na jednej linii równoległej do spadku. Wynika stąd wniosek, że obiektów nie można losować oddzielnie w każdej strefie, lecz od razu dla całego wzgórza. Na każde poletko (oprócz wierzchowiny) oddziałują w pewnym stopniu czynniki zastosowane na poletkach wyżej położonych. Dla tych samych kombinacji muszą być one jednakowe. Zaznaczyć należy, że układ uznany przez nas za poprawny, daleki jest od doskonałości. Przypuśćmy, że w doświadczeniu lepsze rezultaty na zboczu dała orka płytko, a na wierzchowinie głęboka. Zalecając takie zróżnicowanie uprawy musimy liczyć się z faktem, że dobre wyniki na zboczu zostały uzyskane w warunkach, gdy wierzchowina była również płytko orana. Nie wiadomo, czy zmiana uprawy na wierzchowinie, np. jej pogłębienie, nie obniży korzyści, które przyniosła na zboczu płytko orka. Wątpliwość tę możemy rostrzygnąć umieszczając nad poletkami z każdą kombinacją wszystkie inne w kilkakrotnym powtórzeniu. Jednak przy większej ilości porównywanych obiektów i wydzielonych stref obszar doświadczenia niewspółmiernie urośnie. Pojedyncze doświadczenie nie może objąć wszystkich skomplikowanych zagadnień wyłaniających się przy agrotechnice terenów erodowanych. Dlatego też omawiany schemat spełniając warunek porównywalności zasadniczych obiektów jest uzasadniony.

Wracając do zagadnienia równoległego i prostopadłego układu poletek względem kierunku spadku, zaznaczyć należy, że i ten drugi znajdzie w niektórych wypadkach uzasadnienie. Porównując w doświadczeniu 2 czynniki, z których jeden ma znaczenie podrzędne, a jego obiekty mało różnią się oddziaływaniem na glebę i jej erozję, można mając na uwadze trudności techniczne, zdecydować się na ten skądinąd nieprawidłowy układ. Weźmy przykład z doświadczeniem, w którym obok różnych głębokości uprawy badamy dodatkowo 2 odmiany lub rozstawy rzędów, a nawet 2 gatunki roślin podobnie oddziałujące na własności fizyczne gleby (np. pszenica jara i jęczmień jary). Siew zgodnie z zaleceniami agrotechniki chcemy wykonać w ten sposób, by rzędy biegły równoległe do warstwic. Równoległy do spadku układ poletek zmusza do stałego przerywania siewu i stosowania między poletkami z różnymi

obiektami czynnika B, przynajmniej 1-metrowych odstępów. Obsiewając obiekty B₁ należy wyłączać siewnik na poletkach z B₂, co powoduje stratę czasu i niepożądane ugniatanie roli przez agregat. Można tego uniknąć stosując układy poletek zilustrowane rys. 7 A i B. Zasadą ich jest zrównoważone (zbalansowane) rozmieszczenie obiektów w stosunku do rzeźby terenu, polegające na tym, że wypadają one kolejno w niższym i wyższym położeniu. Schemat A nie eliminuje jałowych przejść siewnika



S - stok
I, II - powtórzenia

Rys. 7

i ugniatania roli, chyba że między powtórzeniami będą szerokie pasy ochronne umożliwiające zawrócenie agregatem. Schemat B ma także wady gdyż trudno ustalić czy suma położenia najwyższego i najniższego równoważy sumę środkowych. Reasumując należy stwierdzić, że prostopadły do spadku układ poletek nie jest prawidłowy, a stosowanie go należy uważać za wyjątków. Można też wyciągnąć wniosek, że zbyt szeroki stosunek długości do szerokości poletek, zwiększa znacznie trudności techniczne przy zakładaniu doświadczeń, ponieważ większość zabiegów agrotechnicznych wykonywać należy w kierunku zgodnym z biegiem warstw.

Rozpatrując dalej nasz przykładowy schemat (rys. 5) widzimy, że czynnik A umieszczony jest na większych poletkach — podblokach, zaś B wewnątrz nich. Wynika stąd, że czynnik B jest w doświadczeniu porównywany dokładniej, występując w większej ilości powtórzeń. W wypadku gdy zależy nam bardziej na stwierdzeniu efektu poszczególnych upraw jest to błędem, który jednak popełniony został celowo. Stosując prawidłowo orkę (uprawę) wzdłuż warstw, na poletkach położonych dłuższą osią zgodnie ze spadkiem, zachodzi konieczność stałego przerywania pracy. Gdy poszczególne rodzaje upraw umieścimy w podblokach, przerwy te będą rzadsze (między podblokami), gdy wewnątrz nich, na mniejszych poletkach — częstsze (między poletkami). Zwiększa to znacznie trudności techniczne i czas wykonania pracy. Poza tym przy doświadczeniach uprawowych obowiązuje większa powierzchnia poletek, dzięki czemu zabieg może być lepiej porównany.

Z kolei nasuwa się pytanie, jaki układ obiektów lepiej stosować — losowy czy zrównoważony. W naszym przykładzie rozmieszczenie obiektów obu czynników A i B jest zrównoważone. Jeśli ilość porównywanych w doświadczeniu obiektów jest mała, losowanie ich może dawać złe rezultaty, szczególnie gdy wynik zbliżony jest do systematycznego (jednokierunkowa zmienność glebowa). W tych wypadkach poprawniejszym i jednocześnie łatwym do zastosowania jest układ zrównoważony.

Przy zakładaniu doświadczeń ciągłych ważną zasadą jest również jednakowa ilość powtórzeń na każdej strefie wzniesienia. Powtórzenia te muszą być położone równo pod sobą, w jednej linii równoległej do spadku.

Szereg zagadnień poruszonych w omawianym przykładzie, bynajmniej nie wyczerpuje wszystkich problemów doświadczalnictwa terenów o urozmaiconej rzeźbie. Nie może być tu stałych recept i wzorów na stosowanie układów doświadczeń. Będą one wypadkową szeregu czynników jak: charakteru wzniesienia, rodzaju porównywanych obiektów, możliwości technicznych i innych. Przy planowaniu każdego doświadczenia należy je dokładnie przeanalizować, uwzględniając również dalsze lata i opracować graficznie do najdrobniejszych szczegółów na planie sytuacyjno-warstwicznym.

Projektowanie doświadczeń nieciągłych jest stosunkowo łatwiejsze. W znacznie mniejszym stopniu jesteśmy tu ograniczeni powierzchnią i nierównością pola. Powtórzenia i poszczególne obiekty nie muszą być umieszczone na jednej osi, gdyż duże przerwy między nimi (w kierunku równoległym do spadku) niwelują wpływ poletek położonych wyżej na poletka niższe. W związku z tym obiekty w powtórzeniach każdej strefy należy losować, a raczej zbalansować również w kierunku równoległym

do spadku. Ilość powtórzeń w poszczególnych częściach wzniesienia może, choć nie powinna się różnić. W tym wypadku potraktujemy doświadczenie jako wielokrotne. Również trudności techniczne przy wykonywaniu zabiegów agrotechnicznych są tu mniejsze. Trzeba jednak stwierdzić, że doświadczenia nieciągle posiadają poważne wady. Porównując zabieg agrotechniczny w poszczególnych częściach wzniesienia, przedzielonego szerokimi łanami, badamy jego działanie w izolacji tak w czasie, jak i przestrzeni. W czasie — gdyż nie można zbadać jego wpływu na zmiany środowiska całego wzniesienia, a przede wszystkim na erozję wodną. W przestrzeni — gdyż nie znamy jego reakcji na zabiegi zastosowane w wyżej położonych częściach wzniesienia oraz wpływu na leżące niżej. Dlatego też na wzniesieniach o długim stoku często należy zrezygnować z doświadczeń ścisłych, stosując w miarę możliwości łanowe, które mimo mniejszej dokładności lepiej spełniają warunek badania wzniesienia jako nierozzerwalnej całości. Naturalnie muszą one obejmować całą jego długość od wierzchowiny do podnóża.

WSKAZÓWKI DO OBLICZANIA NIEKTÓRYCH SCHEMATÓW DOŚWIADCZEŃ

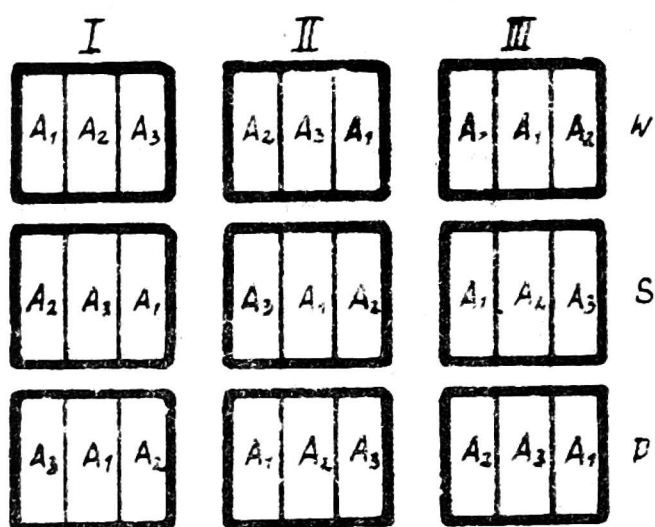
Poruszę tu jedynie pewne, najistotniejsze moim zdaniem momenty, na które należy zwrócić uwagę przy obliczaniu niektórych doświadczeń założonych w terenie urzeźbionym. Zacznę od przykładu doświadczenia ciągłego, w którym oprócz stref wzniesienia porównywany jest tylko jeden, sztucznie wprowadzony czynnik (rys. 8). Zgodnie z rozważaniami poprzedniego rozdziału, potraktujemy je jako kombinowane, 2-czynnikowe o układzie zależnym. Schemat analizy zmienności (wariacji) tego doświadczenia ilustruje tabela 1, w której poszczególne zmienności podane zostały w postaci wzorów liczby stopni swobody¹.

r = ilość powtórzeń

s = ilość stref wzniesienia — obiektów naturalnych

a = ilość obiektów czynnika A

¹ Charakter i ramy niniejszego artykułu nie pozwalają mi na szczegółowe przedstawienie sposobów obliczeń. Czytelnik nie posiadający zasadniczych wiadomości z zakresu metodyki doświadczalnej i tak niewiele by z nich skorzystał, bez uzupełnienia wzorów przykładami liczbowymi. Wzór na liczbę stopni swobody umożliwi „wtajemniczonemu” obliczyć sumę kwadratów każdej zmienności i na tej podstawie doprowadzić do końca obliczenie doświadczenia oraz oparte na nim wnioskowanie. Szczegółowe wskazówki dotyczące całokształtu obliczeń doświadczeń metodami statystycznymi, pominięte w niniejszym artykule znajdzie czytelnik w pracy S. Barbackiego pt. „Doświadczenia kombinowane”.



W — wierzchołowa
 S — stok
 P — podnóże
 I, II, III — powtórzenia

Rys. 8

Tabela 1

Lp.	Rodzaj zmienności	Liczba stopni swobody
1	powtórzeń	$r-1$
2	stref	$s-1$
3	błąd I (dla stref)	$(r-1)(s-1)$
4	czynnika A	$a-1$
5	interakcji strefy X czynnik A	$(r-1)(a-1)$
6	błąd II	$s(r-1)(a-1)$
7	ogólna	$rsa-1$

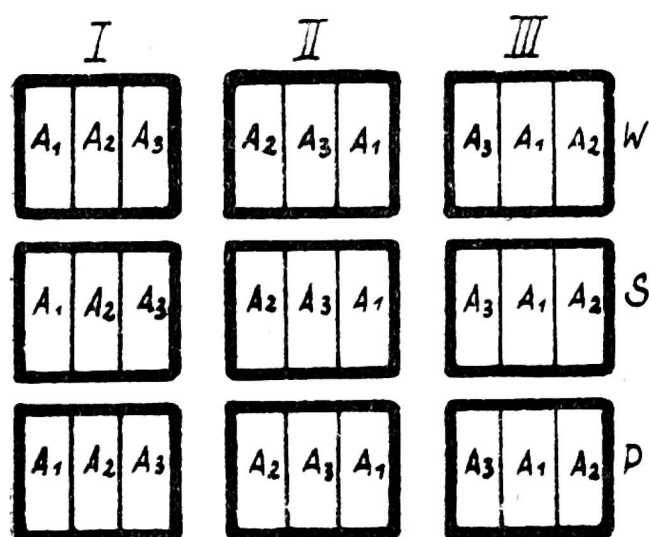
Zmienność stref wzniesienia i ich błąd, są tu obliczane w ten sam sposób, jak dla obiektów porównywanych w podblokach w normalnym doświadczeniu kombinowanym. Jest to zgodne z założeniem, że strefy występują w powtórzeniach, a obciążająca je systematyczna zmienność w kierunku równoległym do spadku, nie jest przypadkową, lecz wynikającą z badanej różnorodności siedliska wzniesienia. Zaznaczyć trzeba, że nie zależy nam specjalnie na obliczeniu zmienności stref jak i błędu dla nich. Toteż możemy je nawet włączyć do zmienności powtórzeń i eliminować ze zmienności ogólnej doświadczenia. Ważne są przede wszystkim zmienność obiektów sztucznie wprowadzonego czynnika A, interakcja strefy X czynnik A i dotyczący obu tych zmienności błąd II. Sposób ich obliczeń niezależnie od tego jak potraktujemy strefy nie ulegnie zmianie.

Schemat analizy zmienności będzie się różnił w wypadku, gdy poszczególne obiekty czynnika A znajdą się w każdym powtórzeniu na jednej osi równoległej do spadku. Układ ten będzie miał przede wszystkim zastosowanie w doświadczeniach agrotechnicznych — ciągłych. Ilustruje go przykład 2 (rys. 9). Czynnika A nie można uważać za umieszczony wewnątrz podbloków, gdyż poletka z jego obiektami przebiegają zawsze przez wszystkie strefy wzniesienia, będąc na całej jego długości pojedynczymi elementami. W przykładzie 2 pojedynczym elementem (poletkiem) obiektów czynnika A, będą 3 poletka (na podnóżu, stoku i wierzchołynie) danego powtórzenia. W związku z tym zmieni się sposób obliczeń błędu dla czynnika A, a również należy wprowadzić do analizy III błąd dla interakcji strefy X czynnik A. Błąd dla zmienności

ści czynnika A będzie obliczany identycznie jak w doświadczeniu prostym, a więc bez uwzględnienia stref wzniesienia. Określa go wzór na liczbę stopni swobody: $(r-1)(a-1)$. Błąd dla interakcji strefy X czynnik A będzie różnicą między błędem II (tab. 1), a błędem dla czynnika A. Najprościej obliczyć go z różnicy między całkowitym błędem doświadczenia dla wszystkich kombinacji, a sumą błędów dla stref i czynnika A.

$$(r-1)(sa-1) - (r-1)(s-1) - (r-1)(a-1) = (r-1)(s-1)(a-1).$$

Ostateczny schemat analizy zmienności ilustruje tabela 2.



W - wierzchołna
S - stok
P - podnóże
I, II, III - powtórzenia

a

Rys. 9

Tabela 2

Lp.	Rodzaj zmienności	Liczba stopni swobody
1	powtórzeń	$r-1$
2	stref	$s-1$
3	błąd I (dla stref)	$(r-1)(s-1)$
4	czynnika A	$a-1$
5	błąd II (dla czynnika A)	$(r-1)(a-1)$
6	interakcja strefy X czynnik A	$(s-1)(a-1)$
7	błąd III (dla interakcji)	$(r-1)(s-1)(a-1)$
8	ogólna	$rsa-1$

Podobnie przeprowadza się obliczenia przy doświadczeniach 3-czynnikowych (jednym z nich będzie obiekt naturalny). Gdy obiekty sztucznie wprowadzonych czynników będą zrównoważone (względnie rozlosowane) oddzielnie dla poszczególnych stref — schematy analiz zmienności będą identyczne ze stosowanymi dla doświadczeń kombinowanych 3-czynnikowych. Dotyczy to zarówno układów całkowicie jak i częściowo zależnych. Znajdą one zastosowanie przy doświadczeniach nieciągłych, z uwagi na zrównoważenie (losowanie) obiektów również w kierunku równoległym do spadku.

W wypadku doświadczeń 3-czynnikowych, w których obiekty sztucznych czynników leżą w poszczególnych powtórzeniach na jednej linii równoległej do spadku, obliczenia należy przeprowadzić podobnie jak w przykładzie 2. Tabela 3 ilustruje ostateczny schemat analizy zmienności doświadczenia 3-czynnikowego, którego przykład był przedstawiony

na rys. 5. Wiemy, że było ono założone w układzie zależnym, a poszczególne obiekty sztucznie wprowadzonych czynników znajdowały się na jednej linii równoległej do spadku, na poletkach biegnących przez wszystkie strefy wzniesienia.

Tabela 3

Lp.	Rodzaj zmienności	Liczba stopni swobody
1	powtórzeń	$r-1$
2	stref	$s-1$
3	błąd I (dla stref)	$(r-1)(s-1)$
4	czynnika A	$a-1$
5	błąd II (dla A)	$(r-1)(a-1)$
6	interakcja strefy X A	$(s-1)(a-1)$
7	błąd III (dla interakcji poz. 6)	$(r-1)(s-1)(a-1)$
8	czynnika B	$(b-1)$
9	interakcja A X B	$(a-1)(b-1)$
10	błąd IV (dla zmienności 8 i 9)	$a(r-1)(b-1)$
11	interakcja strefy X B)	$(s-1)(b-1)$
12	interakcja strefy X A X B	$(s-1)(a-1)(b-1)$
13	błąd V (dla zmienności 11 i 12)	$a(r-1)(s-1)(b-1)$
14	ogólna	$rsab-1$

b = ilość obiektów czynnika B.

Z tabeli widać, że błędy dla zmienności czynników A i B, oraz interakcji A X B, oblicza się analogicznie jak gdyby w doświadczeniu porównywano jedynie 2 czynniki sztucznie wprowadzone (A i B), a więc bez uwzględnienia stref wzniesienia. Błędy I i III są identyczne jak w tabeli 2, a błąd V dotyczący interakcji strefy X B i podwójnej interakcji strefy X A X B będzie różnicą między ogólnym błędem doświadczenia — $(sab-1)(r-1)$ a sumą pozostałych (I—IV).

Przytoczone powyżej przykłady bynajmniej nie wyczerpują wszystkich możliwych. Często może się zdarzyć wskutek silnej zmienności glebowej lub niszczącego działania erozji, że wyniki jednej strefy będą niemiernodajne. Może to dotyczyć całości lub pojedynczych powtórzeń danej strefy. Wyniki takich doświadczeń będą dla nas cenne, gdyż charakteryzują badaną erozję, lecz nie dadzą się obliczyć za pomocą analizy statystycznej. W tych wypadkach należy albo wyeliminować z obliczeń plony uszkodzonych poletek danej strefy lub powtórzenia, albo potraktować człony na poszczególnych częściach wzgórza jako pojedyncze doświadczenia. Ten ostatni wypadek znajdzie często zastosowanie w do-

świadczeniach nieciągłych, tymbardziej gdy ich poszczególne człony będą niesymetrycznie rozmieszczone w różnych partiach wzgórza (np. — w różnych wystawach).

UWAGI KOŃCOWE

Wspomnę jeszcze o dodatkowej roli, jaką przypisuje doświadczeniom terenów o urozmaiconej rzeźbie akademik W. Mosołow w pracy na temat „Rzeźba terenu a rolnictwo”. Uważa on, że jednoroczne wyniki poszczególnych członów doświadczenia, założonych w różnych wysokościach wzgórza charakteryzują odmienne warunki glebowe i meteorologiczne. Można je więc potraktować jako odpowiedniki właściwości różnych rejonów lub właściwości klimatyczne różnych lat. Dane uzyskane z tych doświadczeń umożliwią lepsze scharakteryzowanie reakcji odmian lub zabiegów agrotechnicznych na zmienne warunki środowiska i ułatwią ich rejonizację.

W terenach erodowanych szczególnie duże znaczenie ma pogłębianie wyników doświadczeń polowych badaniami laboratoryjno-terenowymi. Powinny one dotyczyć fizycznych, chemicznych i biologicznych własności gleby, tempa rozwoju rośliny, struktury i jakości jej plonów oraz mikroklimatu. Pozwoli to na dokładniejszą charakterystykę warunków siedliska i oddziaływania ich na rośliny uprawne. Obliczając proste i wielokrotne korelacje między różnymi, ujętymi liczbowo czynnikami środowiska oraz cechami ilościowymi i jakościowymi plonów, będziemy w stanie poznać ich wzajemne oddziaływanie i wyjaśnić wiele zależności.

Pilną konieczność stanowi również opracowanie metodyki badań spływu i zmywu, która mogłaby być dostosowana do badań erozji na poszczególnych poletkach. Opracowanie prawidłowych systemów zagospodarowania terenów o urozmaiconej rzeźbie, będące celem doświadczalnictwa, musi być ściśle powiązane z badaniami erozji, stanowiącej czołowy problem tego zagadnienia.

Uwagi i rozważania zawarte w niniejszym artykule nie roszczą sobie pretensji do objęcia całokształtu niezwykle złożonej problematyki doświadczalnictwa terenów o urozmaiconej rzeźbie. Nastąpi to z czasem dzięki powiększaniu się praktycznych i teoretycznych wiadomości w tej dziedzinie badań. Również i wskazówki tu zawarte mają charakter dyskusyjny i nie mogą być traktowane jako „wytyczne”.

WNIOSKI

1. Ścisłe doświadczenia polowe są podstawowym i koniecznym elementem opracowania właściwej agrotechniki dla terenów erodowanych.

2. Schematy doświadczeń będą różne w zależności od typu rzeźby, badanego zagadnienia agrotechnicznego i możliwości technicznych doświadczalnika. Założenie doświadczenia winna poprzedzić wszechstronna analiza badanego terenu i celowości układu porównywanych obiektów.

3. W doświadczeniu założonym na wzgórzu oprócz czynników sztucznie wprowadzonych badany jest obiekt naturalny — rzeźba terenu.

4. Zbadanie interakcji między porównywanymi w doświadczeniu sztucznymi czynnikami a obiektem naturalnym jest jednym z najistotniejszych momentów doświadczalnictwa terenów erodowanych.

5. Każde doświadczenie w terenach erodowanych winno być pogłębiane badaniami uzupełniającymi, laboratoryjno-terenowymi. Najważniejszym z nich jest badanie natężenia spływu i erozji. Zachodzi więc konieczność opracowania metodyki dostosowanej do badań erozji na poszczególnych poletkach doświadczenia ścisłego.