
ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN – POLONIA

VOL. LVIII

SECTIO E

2003

¹Wyższa Szkoła Zarządzania i Administracji w Zamościu, ul. Akademicka 4, 20-400 Zamość,

²Instytut Gleboznawstwa i Kształowania Środowiska Przyrodniczego, Akademia Rolnicza
w Lublinie, ³Katedra Zastosowań Matematyki, Akademia Rolnicza w Lublinie

Tadeusz Przybysz¹, Józef Borowiec², Agnieszka Kamińska³

*Próba statystycznej interpretacji wyników badań chemizmu
siedlisk łąkowych Lubelszczyzny*

An attempt at statistical interpretation of the results of the examination
of the meadow habitats chemism in the Lublin Region

ABSTRACT. The paper deals with the use of some of the statistical methods to find the relations between the content of chemical elements in soils, plants and between soil and plant. The studies have been conducted on the results of the examination made on the basis of the meadow plants in the Lublin Region. It concerned the content of chemical elements in soils and plants. The characteristics of the studied traits, mean value, standard deviation and variation coefficient were calculated. In pairs a comparison was made of the mean element content in soils of 4 types and plants using t-Student test. Correlation analysis and partial correlation analysis was performed to assess the strengths of connection between the contents of chemical elements in the soil and also between their content in plants. The multiple linear regression analysis was useful to establish the functional dependences in the studied elements. A great variety of the features was observed, which was caused by huge and multidirectional differentiation of the studied meadow habitats. By means of partial correlation, the evidence was found that proving a significant correlation for a given pair of elements does not always mean that a significance connection between them actually exists. The applied methods turned out to be useful for a description of the connections in the research of many variables.

KEY WORDS: elements, statistical analysis, meadow habitat

Zanieczyszczenia i skażenia środowiska wypływają z różnorodnej działalności ludzkiej i stanowią zagrożenie dla równowagi przyrodniczej [Różaniecka 1998]. Występowanie metali ciężkich w środowisku wynika zarówno z biochemicznego obiegu pierwiastków, i w tym przypadku ich niskie zawartości są funkcją naturalnych procesów zachodzących w przyrodzie, jak również może być następstwem zanieczyszczeń cywilizacyjnych atmosfery, wody i gleby. Naturalna zawartość metali ciężkich nie stanowi zagrożenia dla organizmów żywych, natomiast ich wysoka zawartość prowadzi do występowania licznych zaburzeń w przebiegu procesów fizjologicznych.

Przeprowadzone w okresie ostatnich lat liczne badania w zakresie ochrony środowiska, które dostarczyły bogactwa danych liczbowych, nie zawsze dawały podstawę do właściwej oceny sytuacji. Zastosowane w nielicznych opracowaniach metody statystyczne ograniczały się najczęściej do analizy współczynników korelacji prostej.

Celem pracy było podjęcie próby wykorzystania mniej znanych i rzadziej stosowanych metod statystycznej analizy i statystycznego wnioskowania wyników badań zawartości pierwiastków w glebach i roślinach w siedliskach łąkowych.

METODY

W pracy wykorzystano wyniki badań przeprowadzonych na bazie 169 obiektów łąkowych Lubelszczyzny [Borowiec, Urban 1997]. Przy wyborze obiektów doświadczalnych uwzględniano różnorodność siedlisk łąkowych regionu, zarówno przyrodniczą, jak i użytkową. Liczba i rozmieszczenie wytypowanych do badań obiektów w pełni charakteryzuje różnorodność siedlisk łąkowych Lubelszczyzny. Materiał do badań laboratoryjnych zebrano w okresie dwu sezonów wegetacyjnych, w latach 1992–1993. Próbkę gleby pobrano z warstwy 5–15 cm, a materiał roślinny stanowił I pokos. Oznaczenia laboratoryjne objęły, obok pomiaru pH i oznaczenia substancji organicznej, zawartość 5 makroelementów P, K, Na, Ca, Mg oraz 9 pierwiastków śladowych Mn, Cu, Zn, Fe, Mo, Co, Pb, Cd, Cr w próbkach glebowych i roślinnych.

Otrzymany materiał badawczy uszeregowano, uwzględniając zmienność typologiczną gleb, z których zostały pobrane próbki. W niniejszej pracy ocenie poddano wyniki uzyskane z analizy próbek pobranych z 4 typów gleb: torfowomurszowych (19 obiektów), czarnych ziem właściwych (19 obiektów), mad właściwych (30 obiektów) i mad próchnicznych (23 obiekty).

Zebrany w badaniach materiał liczbowy przedstawiono w tabeli 1. Charakterystyki badanych cech dla każdego z typów gleb, z zaznaczeniem wartości śred-

niej arytmetycznej (średnia), odchylenia standardowego (odchylenie) i współczynnika zmienności (zmienność) wyrażonego w procentach, przedstawiono w tabeli 2.

Do porównania średnich zawartości poszczególnych pierwiastków posłużono się testami t-Studenta [Kala 1997]. W związku z tym, że w testach tych zakłada się normalność badanych zmiennych, do weryfikacji hipotezy o normalności rozkładu zastosowano test Shapiro-Wilka [Koronacki, Mielniczuk 2001]. Porównania średnich poziomów zawartości poszczególnych pierwiastków pomiędzy badanymi typami gleb dokonano w układzie gleba–gleba oraz roślina–roślina.

Tabela 1. Zestawienie badanych cech w próbkach gleb i roślin
Table 1. The studied features in samples of soil and plant

Cecha Feature	Symbol cechy Symbol of feature		Wskaźnik Jednostka miary Index Unit of measure
	gleba soil	roślina plant	
P	P gleba*	P roślina**	%
K	K gleba*	K roślina**	%
Na	Na gleba*	Na roślina**	%
Ca	Ca gleba*	Ca roślina**	%
Mg	Mg gleba*	Mg roślina**	%
Fe	Fe gleba*	Fe roślina**	% w glebie in soil mg/kg w roślinie in plants
Mn	Mn gleba*	Mn roślina**	mg/kg
Cu	Cu gleba*	Cu roślina**	mg/kg
Zn	Zn gleba*	Zn roślina**	mg/kg
Mo	Mo gleba*	Mo roślina**	mg/kg
Co	Co gleba*	Co roślina**	mg/kg
Pb	Pb gleba*	Pb roślina**	mg/kg
Cd	Cd gleba*	Cd roślina**	mg/kg
Cr	Cr gleba*	Cr roślina**	mg/kg
ph	pH	-	-
Substancja organiczna Organic matter	SO	-	%

* soil, ** plant

Tab. 2

Tabela 3. Wyniki porównania w układzie średnia zawartość pierwiastka w glebie
Table 3. Results of the comparison of mean content of elements in soil

Pierwiastek Element	Typ gleby Type of soil					
	Torfowo- -murszowe i czarne ziemie Peat muck and black earths	Torfowo- -murszowe i mady właściwe Peat muck and alluvial soils(proper)	Torfowo- -murszowe i mady próchniczne Peat muck and alluvial soils(humous)	Mady właściwe i mady próchniczne Alluvial soils(proper) and alluvial soils(humous)	Czarne ziemie i mady próchniczne Black earths and alluvial soils(humous)	Czarne ziemie i mady właściwe Black earths and alluvial soils(proper)
P	T *	T	0 (T)	0 (P)	0 (P)	0 (W)
K	0	W	P	0	P	0 (W)
Na	0	0	0	0	0	0 (W)
Ca	T	0 (T)	0	0	P	0
Mg	0	0	0	0	P	W
Fe	T	T	T	0	0	0
Mn	0	0	P	P	P	0 (W)
Cu	0	0	0*	0	P	0
Zn	0 (T)	0	0	0	P	0
Mo	0	0	0	0	0	0
Co	T	T	T	0	0 (P)	0
Pb	T	0	0	0*	P*	0*
Cd	0	0	0*	P*	P	0
Cr	T	0	0	P*	0*	W*

T – średnia większa dla torfowo-murszowych mean value is larger for peat-muck, W – średnia większa dla mad właściwych mean value is larger for alluvial soils (proper, P – średnia większa dla mad próchnicznych mean value is larger for alluvial soils (humous), C – średnia większa dla czarnych ziem mean value is larger for black earths, 0 – brak istotnych różnic między średnimi no significant difference between mean values

Tabela 4. Wyniki porównania w układzie średnia zawartość pierwiastka w roślinie
Table 4. Results of the comparison of mean content elements in plant

Pierwia- stek Element	Typ gleby Type of soil					
	Torfowo- -murszowe i czarne ziemie Peat muck and black earths	Torfowo- -murszowe i mady właściwe Peat muck and alluvial soils (proper)	Torfowo- -murszowe i mady próchniczne Peat muck and alluvial soils (humous)	Mady właściwe i mady próchniczne Alluvial soils (proper) and alluvial soils (humous)	Czarne ziemie i mady próchniczne Black earths and alluvial soils (humous)	Czarne ziemie i mady właściwe Black earths and alluvial soils (proper)
P	0*	0*	0	0	0	0*
K	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Na	0	T*	0	0	0	0
Ca	0	0	0	0	0	0
Mg	0*	0	0	0	0	0*
Fe	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0
Cu	0	T	T	0	C	C
Zn	0	0	0	0	0	0
Mo	0	0	0	0	0	0
Co	0	0	0(P)	0	0	0
Pb	T	0	0	0	0	0
Cd	0	0	0	0	0	0
Cr	0	W	P	0	0	0 (W)

Objaśnienia tabela 3 Explanations table 3

Tab. 5

Tab. 6

Dalszą analizę statystyczną dotyczącą określenia zależności pomiędzy badanymi cechami przeprowadzono za pomocą analizy korelacji i liniowej regresji wielokrotnej [Draper 1973]. Poszukując istotnych współzależności między pierwiastkami, wyznaczono współczynniki korelacji Pearsona oraz współczynniki korelacji cząstkowej [Morrison 1990]. W analizie regresji jako zbiór zmiennych niezależnych (objaśniających) przyjęto: P gleba, K gleba, Na gleba, Ca gleba, Mg gleba, Fe gleba, Mn gleba, Cu gleba, Zn gleba, Mo gleba, Co gleba, Pb gleba, Cd gleba, Cr gleba, określające zawartości poszczególnych pierwiastków w próbkach glebowych oraz odczyn pH i zawartość substancji organicznej SO. Zmiennymi zależnymi (objaśnianymi) kolejno były: P roślina, K roślina, Na roślina, Ca roślina, Mg roślina, Fe roślina, Mn roślina, Cu roślina, Zn roślina, Mo roślina, Co roślina, Pb roślina, Cd roślina, Cr roślina, określające poziomy pierwiastków w próbkach roślinnych. Do otrzymanego modelu, zawierającego wszystkie zmienne objaśniające, zastosowano procedurę eliminacji *a posteriori* [Draper 1973], wprowadzając do równania tylko te zmienne, których udział był istotny przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Zadbano jednocześnie o to, aby zmienne objaśniające w równaniu były koincydentne [Hellwig 1976].

WYNIKI

Zestawienie badanych cech przedstawiono w tabeli 1. Analiza średnich poziomów pierwiastków w zależności od ogólnie przyjętych dla nich optymalnych norm [Borowiec, Urban 1997] przedstawia się następująco. Średnie stężenia ołowiu, kadmu, miedzi i cynku we wszystkich typach gleb mieściły się w przedziałach wartości niestanowiących zagrożeń dla środowiska. Niektóre z nich świadczyły wręcz o niskiej zawartości w roślinności z mad właściwych i mad próchnicznych. Wyniki analizy wartości średnich pozostałych pierwiastków śladowych nie wskazywały niebezpiecznych zawartości w badanych próbkach gleby i roślin. Jedynie w glebach torfowo-murszowych średnia zawartość kobaltu wykazała podwyższone ilości tego pierwiastka. Natomiast we wszystkich próbkach roślinnych występował wyraźny niedobór molibdenu i kobaltu. Poziom wartości średnich oznaczonych makroelementów (P, K, Na, Ca, Mg) świadczył o niskiej zasobności gleb i roślinności łąkowej w te pierwiastki. Optymalne wartości średnich uzyskano jedynie w próbkach gleby – dla Ca we wszystkich typach gleb (poza czarnymi ziemiami), Na, Mg – w madach oraz P – w glebach torfowo-murszowych i madach próchnicznych.

Dalsza analiza wartości liczbowych tabeli 1 wykazała, że ogólnie zmienność rozpatrywanych cech była duża, o czym świadczy wartość współczynnika

zmienności. Miara ta wręcz przekroczyła 100% dla niektórych cech. Najmniejszym zróżnicowaniem wyróżniały się wartości pH, a współczynnik zmienności był w zakresie 14–22%.

Wartości współczynnika zmienności, przekraczające 50–60%, świadczą o dużym rozproszeniu pojedynczych obserwacji. A jeśli ponadto odchylenie standardowe jest większe (lub prawie równe) od wartości średniej, mamy wtedy do czynienia ze zjawiskiem asymetrii. Występują wówczas pojedyncze obserwacje znacznie przekraczające wartość średnią. Zjawisko to utrudnia albo uniemożliwia stosowanie testów t-Studenta. Przyczyn tak dużej zmienności należy upatrywać w tym, iż badane siedliska łąkowe Lubelszczyzny wykazały duże i wielokierunkowe zróżnicowanie (geomorfologia, rodzaj podłoża, stosunki wodne, trofizm środowiska glebowego).

Kolejnym krokiem przeprowadzonej analizy statystycznej było poszukiwanie zależności w układzie średnia zawartość pierwiastka a rodzaj gleby. Wyniki przedstawione zostały w tabelach 3 oraz 4. Hipotezę o normalności rozkładu badanych cech sprawdzono za pomocą testu Shapiro-Wilka. Symbolem „*” wyróżniono przypadki, w których obie cechy równocześnie spełniały założenie o normalności, natomiast dla pozostałych użyto transformacji logarytmicznej zmiennych ($y = \log_{10}x$), tak aby ich rozkłady stały się w przybliżeniu normalne.

Okazało się, że stosowane testy t-Studenta są odporne na odchylenia od normalności. We wszystkich przypadkach, w których stwierdzono istotne różnice, przy braku normalności istotność ta została zachowana po zastosowaniu przekształcenia. Celowość stosowania przekształceń została szczególnie potwierdzona w tych przypadkach, w których zastosowanie testów t-Studenta na danych nie ujawniło istotnych różnic. Różnice te okazały się istotne dopiero po dokonaniu przekształcenia (tab. 3, 4 – wyniki te podano w nawiasach).

Na tej podstawie można było sformułować szereg wstępnych uogólnień. Nie stwierdzono istotnych różnic między średnimi dla Mo w glebie i P, K, Mg, Fe, Mn, Zn, Mo, Cd w roślinie. Gleby torfowo-murszowe okazały się najbardziej zasobne w Fe, Co, natomiast mady próchniczne najbardziej zasobne w Mn, a czarne ziemie najbardziej ubogie we wszystkie badane pierwiastki. Niewiele istotnych różnic wystąpiło między średnimi stężeniami pierwiastków w roślinie (tab. 4). Natomiast najwięcej istotnych różnic wystąpiło w układzie czarne ziemie–mady próchniczne na korzyść mad (tab. 3).

W dalszej kolejności, za pomocą analizy korelacji, poszukiwano zależności między poszczególnymi pierwiastkami w glebie i roślinności łąkowej. W tabeli 5 zestawiono wyniki przeprowadzonej analizy w odniesieniu do gleby (część znajdująca się poniżej przekątnej) i roślinności łąkowej (powyżej przekątnej). Literą „T” oznaczono wystąpienie istotnego współczynnika korelacji (przy poziomie

ziomie istotności $\alpha=0,01$) w glebach torfowo-murszowych. W odniesieniu do pozostałych typów gleb użyto kolejno liter „C” – czarne ziemie, „P” – mady próchnicze, „W” – mady właściwe.

Interpretacja i wnioskowanie oparte jedynie na prostych współczynnikach korelacji (tab. 5) wymaga szerszej analizy. Stwierdzenie istotnej korelacji dla dowolnej pary pierwiastków nie zawsze może być skomentowane jako występowanie istotnej współzależności między tymi pierwiastkami, chociaż formalnie biorąc, hipoteza zerowa o $\rho=0$ została odrzucona. Bardzo często te same pierwiastki są również istotnie skorelowane z inną grupą pierwiastków. W takich przypadkach zachodzi obawa, że wśród wyznaczonych współczynników korelacji Pearsona może pojawić się tzw. korelacja pozorna, czyli niejako „przeniesiona” z innego pierwiastka. Aby wyjaśnić to zjawisko, w dalszych badaniach posłużono się tzw. korelacją cząstkową. Istota współczynników korelacji cząstkowej polega na tym, że można wyznaczyć współzależności między dwoma pierwiastkami, eliminując wpływ innych pierwiastków skorelowanych z porównywaną parą.

Zilustrujemy to na przykładzie istotnych współczynników korelacji, jakie wystąpiły w czarnych ziemiach właściwych w odniesieniu do manganu, miedzi i cynku. Stwierdzono w próbkach z czarnych ziem istotne współczynniki korelacji pomiędzy Mn, Cu, Zn, uzyskując następujące wartości liczbowe: $r_{Mn, Cu} = 0,74$, $r_{Mn, Zn} = 0,51$, $r_{Cu, Zn} = 0,71$. Formalna interpretacja zaobserwowanych wartości współczynników korelacji prowadziłaby do wniosku, że ze wzrostem w glebie poziomu jednego z nich należałoby oczekiwać wzrostu poziomu pozostałych pierwiastków. Okazuje się, że wniosek taki byłby niecałkowicie uzasadniony. Obliczone cząstkowe współczynniki korelacji dla tych trzech pierwiastków przyjęły następujące wartości: pomiędzy Mn i Cu po eliminacji Zn $r_{Mn, Cu (Zn)} = 0,62$, pomiędzy Cu i Zn po eliminacji Mn $r_{Cu, Zn (Mn)} = 0,59$. Obie te wartości okazały się istotne, natomiast współczynnik korelacji cząstkowej między Mn i Zn, po eliminacji Cu $r_{Mn, Zn (Cu)} = -0,05$ nie różnił się istotnie od 0 (był nieistotny), tak więc korelacja między Mn i Zn była pozorna. Została niejako „przeniesiona” na Mn i Zn przez silne skorelowanie z Cu. A zatem swoistą rolę w tym przypadku odegrał poziom Cu.

Podobna sytuacja miała miejsce w madach próchnicznych. Stwierdzono tu istotne współczynniki korelacji między Mn, Zn i Pb. Wartości współczynników korelacji cząstkowej między Mn i Zn, po eliminacji Pb oraz między Pb i Zn, po eliminacji Mn, okazały się istotne $r_{Mn, Zn (Pb)} = 0,66$ oraz $r_{Zn, Pb (Mn)} = 0,49$. Natomiast korelacja cząstkowa pomiędzy Mn i Pb była nieistotna, $r_{Mn, Pb (Zn)} = 0,06$.

Ponadto w roślinności z czarnych ziem właściwych dodatnio istotnie ze sobą korelowały Na, Cu i Mo. Obliczono cząstkowe współczynniki korelacji $r_{Mn, Cu (Mo)} = 0,36$, $r_{Cu, Mo (Na)} = 0,21$, $r_{Na, Mo (Cu)} = 0,52$. Jedynie korelacja cząstkowa między sodem i molibdenem okazała się istotna.

Podobnie w próbkach gleby z mad właściwych stwierdzono istotne dodatnie współczynniki korelacji między Cu, Zn i Pb. Obliczenie cząstkowych współczynników korelacji dla tych pierwiastków ujawniło istnienie istotnej korelacji cząstkowej jedynie między Pb i Zn: $r_{Zn Pb (Cu)} = 0,54$, $r_{Zn Cu (Pb)} = 0,24$, $r_{Cu Pb (Zn)} = 0,30$.

Nieco żmudniejsze działania wystąpiły przy rozważaniu łącznie 4 pierwiastków. W takim przypadku należało obliczyć aż 6 współczynników korelacji cząstkowej między parami pierwiastków. Sytuacja taka miała miejsce w madach właściwych, gdzie istotnie dodatnio ze sobą korelowały pierwiastki: P, Ca, Mo i Cd. Uzyskano tu następujące wartości współczynników korelacji Pearsona: $r_{P Ca} = 0,64$, $r_{P, Mo} = 0,50$, $r_{P Cd} = 0,50$, $r_{Ca Mo} = 0,54$, $r_{Ca Cd} = 0,51$, $r_{Mo Cd} = 0,61$. Cząstkowe współczynniki korelacji dla tych pierwiastków przyjęły następujące wartości: $r_{P Ca (Mo Cd)} = 0,49$, $r_{P Mo (Ca Cd)} = 0,13$, $r_{P Cd (Ca Mo)} = 0,16$, $r_{Ca Mo (P Cd)} = 0,24$, $r_{Ca Cd (P Mo)} = 0,15$, $r_{Mo Cd (P Ca)} = 0,48$. Jedynie dwa z nich okazały się istotne, między P i Ca oraz między Mo i Cd. Korelacje pozorne zostały wyróżnione w tabeli 5 symbolem „*”.

Dokładna analiza wyników w tabeli 5 pozwoliła na ukazanie następujących prawidłowości w odniesieniu do gleb. Nie stwierdzono istotnych ujemnych współczynników korelacji pomiędzy pierwiastkami. Magnez z chromem był istotnie dodatnio skorelowany we wszystkich badanych typach gleb, poza glebami torfowo-murszowymi. W madach właściwych K i Fe nie były skorelowane istotnie z żadnym z pozostałych pierwiastków, w czarnych ziemiach właściwych dotyczyło to K, Ca, Fe, Mo, Co, Pb, w madach próchnicznych K, Na, Mo, Co, Cd, a w glebach torfowo-murszowych Mg, Fe, Cu, Zn, Mo i Cd. W glebach torfowo-murszowych i madach właściwych fosfor był istotnie dodatnio skorelowany z wapniem, w czarnych ziemiach właściwych i próchnicznych cynk z ołowiem, mangan z miedzią w czarnych ziemiach właściwych i madach właściwych oraz z chromem w glebach torfowo-murszowych i madach właściwych.

W materiale roślinnym stwierdzono zdecydowanie mniej istotnych zależności. Nie stwierdzono istotnych ujemnych współczynników korelacji pomiędzy pierwiastkami. Ołów był istotnie dodatnio skorelowany z cynkiem we wszystkich badanych typach gleb, poza czarnymi ziemiami właściwymi. Żelazo nie było skorelowane istotnie z żadnym z pozostałych pierwiastków. W madach właściwych P, Na, Fe, Mn, Cu, Mo, Co, Cd, Cr nie były skorelowane istotnie z żadnym z pozostałych pierwiastków. Podobnie w czarnych ziemiach właściwych P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Co, Pb, Cd, Cr w madach próchnicznych P, K, Na, Fe, Cu, Mo, Co, a w glebach torfowo-murszowych Na, Mg, Fe i Cr. Należy również podkreślić, iż ołów z cynkiem były skorelowane dodatnio zarówno w glebie, jak i w roślinie z mad próchnicznych i mad właściwych, dodatkowo w madach próchnicznych chrom z magnezem, a w glebach torfowo-murszowych kobalt z fosforem.

Rycina 1. Współczynniki korelacji między zawartością pierwiastków w glebach i roślinach
Figure 1. Correlation coefficients between elements content in soils and plants

Istotne współczynniki korelacji w układzie pierwiastek w glebie–pierwiastek w roślinie wystąpiły: w glebach torfowo-murszowych, ujemny dla K, dodatnie dla Fe, Zn i Pb; w czarnych ziemiach właściwych dodatnie dla Ca, Mo; w madach właściwych dodatnie dla Zn, Pb, a ujemne dla Mo, Co; w madach próchnicznych dla Ca dodatni, dla K, Co ujemne. Zestawienie wszystkich wzajemnych współczynników korelacji między poszczególnymi pierwiastkami w układzie gleba–roślinność łąkowa przedstawiono graficznie na rycinie 1.

Przeprowadzona analiza nie dostarczała dotąd informacji o łącznym wpływie kilku cech na poziom jednej cechy. Do zbadania zależności zachodzących między pierwiastkami w układzie gleba–roślina zastosowano liniową regresję wielokrotną (tab. 6). Wskazano, które z pierwiastków występujących w glebie miały istotny wpływ na ich zawartości w roślinach. Przedstawiono również wartości współczynników determinacji R^2 , które są miarą dopasowania równań regresji do materiału empirycznego, oraz cząstkowe współczynniki determinacji wyróżnione przy każdej zmiennej niezależnej.

Dopasowanie modelu do danych dla ołowiu szacowało się na poziomie 52–65%, dla kadmu było dość słabe – począwszy od braku zależności w madach właściwych do 44% dla czarnych ziem. Dla Cu nie stwierdzono zależności między badanymi cechami w czarnych ziemiach, w pozostałych glebach współ-

czynnik determinacji był na poziomie 50–65%. Dopasowanie modelu dla Zn było dość dobre, R^2 przyjmował wartości 57–85%. Równanie opisujące najlepsze dopasowanie dla cynku miało miejsce w glebach torfowo-murszowych:

$$\text{Zn w roślinie} = 73,156 - 26,711 \text{ P w glebie} + 11,107 \text{ Ca w glebie} - 40,88 \text{ Mg w glebie} + 0,386 \text{ Zn w glebie} - 10,858 \text{ pH}$$

Równanie wskazało, że 85% obserwowanego zróżnicowania poziomu Zn w roślinach może być wyjaśnione regresją liniową na podstawie zawartości P, Ca, Mg, Zn oraz odczynu gleby (pH o najwyższym cząstkowym współczynniku determinacji wynoszącym 33%).

Nie stwierdzono wyraźnej zależności w układzie Pb w glebie–Pb w roślinie (z wyjątkiem gleb torfowo-murszowych) oraz Cd w glebie–Cd w roślinie. Stwierdzono natomiast dodatnią zależność w układzie Zn w glebie–Zn w roślinie dla każdej z badanych gleb poza czarnymi ziemiami.

W glebach torfowo-murszowych na zawartość Co w roślinie w sposób istotny miały wpływ zawarte w glebie Mg, Fe, Mo i Co:

$$\text{Co w roślinie} = 0,049 - 0,08 \text{ Mg w glebie} - 0,021 \text{ Fe w glebie} + 0,02 \text{ Mo w glebie} + 0,003 \text{ Co w glebie}, R^2 = 79\%$$

W czarnych ziemiach właściwych poziom Cr w roślinności łąkowej zależał istotnie od zawartych w glebie Na, Ca, Fe, Zn, Co, a także od jej odczynu pH i zawartości substancji organicznej:

$$\text{Cr w roślinie} = 12,903 - 27,874 \text{ Na w glebie} + 2,983 \text{ Ca w glebie} + 2,512 \text{ Fe w glebie} - 0,06 \text{ Zn w glebie} - 0,894 \text{ Co w glebie} - 1,048 \text{ pH}$$

Poziom tej cechy był wysoki i wyniósł 85%. W madach próchnicznych równanie opisuje zależność i wpływ zawartości w glebie K, Cu, Mo, Cr oraz jej odczynu i udziału substancji organicznej na zawartość Mn w roślinie, z $R^2 = 83\%$:

$$\text{Mn w roślinie} = 317,06 + 232,05 \text{ K w glebie} + 13,297 \text{ Cu w glebie} - 59,29 \text{ Mo w glebie} - 7,326 \text{ Cr w glebie} - 37,67 \text{ pH} + 3,294 \text{ SO}$$

Należy zaznaczyć, iż średni poziom Mn w roślinności zależał od pH w każdym z analizowanych typów gleb. Poziom Mo w roślinności łąkowej dał się oszacować na podstawie zawartości Na, Cu, Pb i Cr w glebie z dokładnością $R^2 = 73\%$:

$$\text{Mo w roślinie} = 0,489 - 0,983 \text{ Na w glebie} + 0,047 \text{ Cu w glebie} - 0,01 \text{ Pb w glebie} - 0,0097 \text{ Cr w glebie}$$

Wyniki przeprowadzonej analizy regresji dla makroelementów w glebach torfowo-murszowych i madach właściwych wykazały dość słabe dopasowanie, współczynniki determinacji nie przekroczyły 50%. Lepsze wyniki otrzymano

dla czarnych ziem (R^2 na poziomie 50–70%). W madach próchnicznych równania regresji dla fosforu i potasu wykazały dość dobre dopasowanie do danych:

$$P \text{ w roślinie} = 0,275 - 0,14 P \text{ w glebie} + 0,021 Cu \text{ w glebie} + 0,223 Mo \text{ w glebie} - 0,013 Pb \text{ w glebie, przy } R^2 = 76\%,$$

$$K \text{ w roślinie} = 0,593 + 0,468 P \text{ w glebie} + 0,058 Ca \text{ w glebie} - 0,379 Cd \text{ w glebie} - 0,011 Cr \text{ w glebie} + 0,127 pH - 0,024 SO, \text{ przy } R^2 = 82\%.$$

WNIOSKI

1. Zaobserwowano dużą zmienność rozpatrywanych cech, spowodowaną dużym i wielokierunkowym zróżnicowaniem badanych siedlisk łąkowych.
2. Za pomocą korelacji cząstkowej wykazano, że stwierdzenie istotnej korelacji dla dowolnej pary pierwiastków nie zawsze może być skomentowane jako występowanie istotnej współzależności między nimi.
3. Zastosowane metody statystyczne okazały się użyteczne do opisu analizy związków i relacji w badaniach wielu zmiennych.

PIŚMIENICTWO

- Borowiec J., Urban D. 1997. Łąki Cz.II. Kondycja geochemiczna siedlisk łąkowych Lubelszczyzny. LTN, Lublin.
- Draper N.R., Smith H. 1973. Analiza regresji stosowana. PWN, Warszawa.
- Hellwig Z. 1976. Przechodniość relacji skorelowania zmiennych losowych i płynące stąd wnioski ekonometryczne. Przegląd Statystyczny, 23, 3–20.
- Kala R. 1997. Elementy wnioskowania parametrycznego dla przyrodników, WAR, Poznań.
- Koronacki J., Mielniczuk J. 2001. Statystyka. WNT, Warszawa.
- Morrison D.F. 1990. Wielowymiarowa analiza statystyczna. PWN, Warszawa.
- Oktaba W. 1971. Metody statystyki matematycznej w doświadczałnictwie. PWN, Warszawa.
- Różaniecka K. 1998. Skład chemiczny zielonek z uwzględnieniem zawartości metali ciężkich w zależności od lokalizacji i fazy wegetacji roślin. Akademia Rolnicza w Lublinie.