

Strona czasopisma: <http://analit.agh.edu.pl/>

Charakterystyka chemiczna piasków obszaru Pustyni Błędowskiej

Chemical characterization of soil from Błędów Desert

Magdalena Bork, Paweł Krawczyk, Grzegorz Lemiecha, Katarzyna Matyjasik

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

ABSTRAKT: Oznaczono zawartość pięciu wybranych pierwiastków (Na, K, Mg, Zn, Mn) w próbkach gleby z Pustyni Błędowskiej, pobranych z czterech obszarów o odmiennym stopniu zagęszczenia i różnorodności roślinności. Próbkę gleby poddano dwóm pierwszym etapom sekwencyjnej ekstrakcji według Tessiera. Otrzymane ekstrakty analizowano z wykorzystaniem Atomowej Spektrometrii Absorbcyjnej ASA oraz Emisyjnej ASE. Dla potasu i magnezu stwierdzono spadek ich zawartości w glebie wraz ze wzrostem zagęszczenia roślinności, jednak dla pozostałych z rozpatrywanych mikro- i makroelementów roślinnych nie potwierdzono żadnych zależności. Wskazuje to na niskie zdolności akumulacyjne i łatwe wymywanie zaadsorbowanych jonów z piasków pustyni. Ogólnie stwierdzono niższe zawartości rozpatrywanych pierwiastków niż średnie wartości w polskich glebach: ok. 7 ppm dla Mg i Mn, 9 ppm dla Zn oraz 25 ppm dla K i 27 ppm dla Na.

ABSTRACT: Five chosen elements (Na, K, Mg, Zn, Mn) concentrations were determined in samples of sandy soil from Błędów Desert. These specimens were taken from four areas with differential flora densification and diversity. Soil samples were subjected to first two parts of sequence extraction (according to Tessier theory) and then determined using Atomic Absorption Spectroscopy and Atomic Emission Spectroscopy. Decrease of concentration with increasing flora density has been determined for potassium and magnesium. However, for other investigated elements no relation can be stated, which can be caused by weak accumulation abilities and easy elution of adsorbed ions. Generally, lower concentrations of examined elements than mean values in polish soils were reported: ca. 7 ppm for Mg and Mn, 9 ppm for Zn, 25 ppm for K and 27 ppm for Na.

Słowa kluczowe: gleba piaszczysta, pierwiastki śladowe, mikroelementy, makroelementy, Pustynia Błędowska

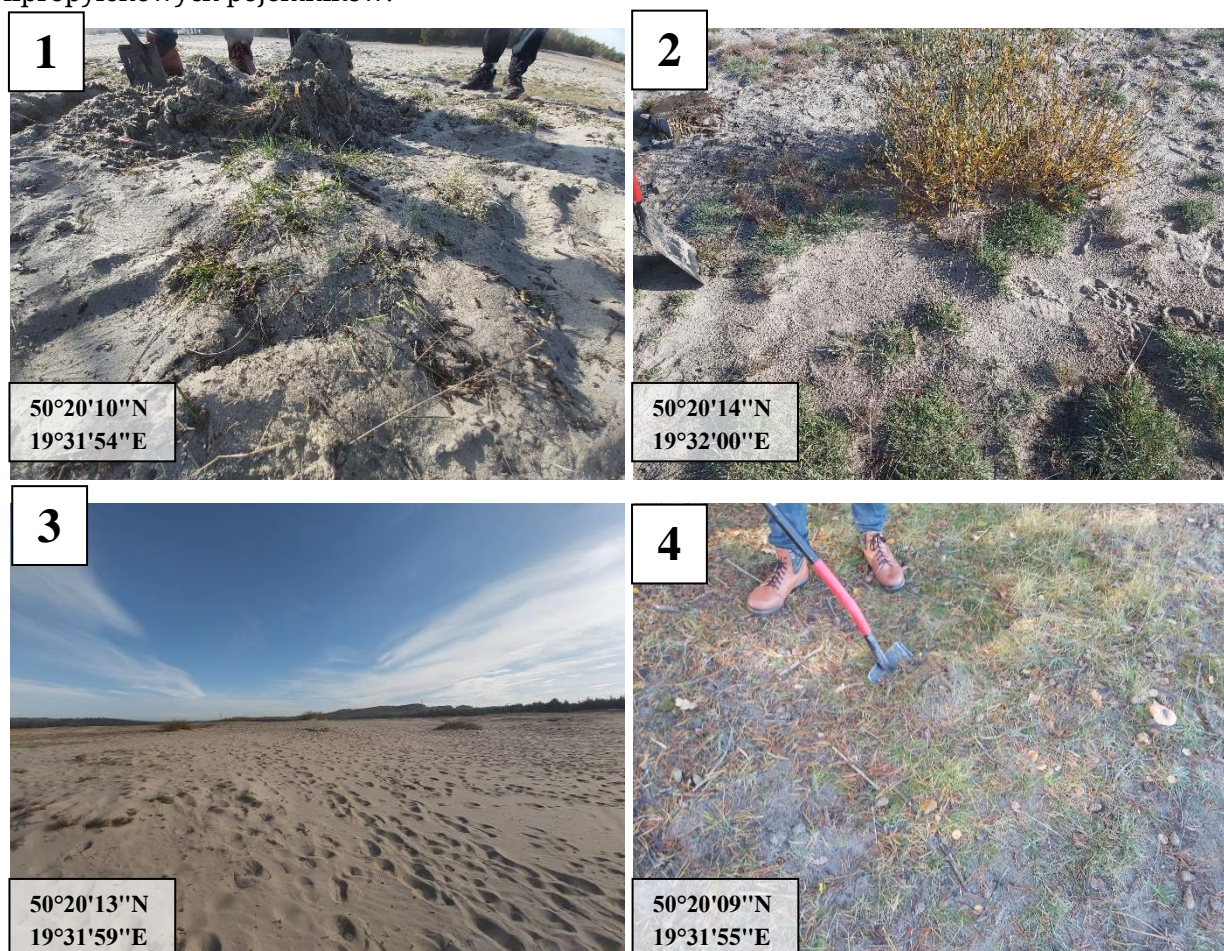
1. Wstęp

Pustynia Błędowska to nietypowy dla wilgotnego klimatu kontynentalnego (wg Köppena) [1] obszar pustynny, położony na południu Polski, na pograniczu Wyżyny Śląskiej oraz Wyżyny Olkuskiej (woj. małopolskie). Teren ten powstał w wyniku działalności kilku glacjałów w plejstocenie, których skutkiem było naniesienie dużych ilości piasków i żwirów na obszar dzisiejszej pustyni. W średniowieczu, w związku z budową i rozwojem okolicznych kopalni ołowiu i srebra, nastąpiła intensywna wycinka lasów na tym obszarze, co umożliwiło zachodzenie dynamicznej erozji wietrznej, skutkującej powstaniem obszaru pustynnego sklasyfikowanego jako pustynię pochodzenia antropogenicznego [2]. Początkowo, Pustynia Błędowska rozpościerała się na obszarze ponad 100 km², jednak współcześnie, w wyniku osadzania się pyłów przemysłowych i wiązania przez nie lotnych piasków oraz sztucznego zalesiania niektórych obszarów Pustyni, zajmuje ona powierzchnię ok. 34 km² [3]. Chcąc poznać skład chemiczny gleb piaszczystych Pustyni Błędowskiej oraz wpływ zawartości mikro- i makroelementów na rozwój tamtejszej roślinności, przeprowadzono badania mające na celu określenie zawartości cynku, potasu, sodu, manganu i magnezu w glebie [4-8], a następnie sprawdzeniu zależności pomiędzy obecnością wymienionych pierwiastków i stopniem zagęszczenia roślinności na badanych obszarach [9-11]. Przytoczone wyżej składniki gleby są jednymi z głównych

pierwiastków wykorzystywanych przez komórki roślinne w procesach życiowych. Do oznaczenia stężenia cynku, manganu i magnezu posłużono się atomową spektrometrią absorpcyjną (ASA), natomiast w oznaczeniach potasu i sodu wykorzystano metodę atomowej spektrometrii emisyjnej (ASE).

2. Metodyka i materiały

Próbki gleby pobrano z obszaru Pustyni Błędowskiej położonego w jej południowo-wschodniej części, w gminie Klucze (punkt obserwacyjny – *Róża Wiatrów*) dnia 15 października 2019 roku. Miejsca poboru próbek obrano i skategoryzowano na podstawie widocznej gęstości wierzchniej warstwy roślinności (**Rysunek 1**). Pierwszą próbkę stanowiła gleba pobrana z obszaru pustyni charakteryzującego się znikomą roślinnością (roślinność znikoma), drugą – gleba pochodząca z obszaru pustyni wykazującego większe zagęszczenie roślinności względem pierwszej (roślinność średnia), trzecią – gleba (piasek) pobrana z piaszczysty obszaru pustynnego bez roślinności, czwartą – gleba pobrana z lasu sosnowego znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie pustyni. W każdym z obszarów poboru gleby wykonano pięćdziesięciocentymetrowe otwory profilowe. Następnie na głębokości 30 cm od powierzchni wyznaczono punkt w profilu przekrojowym gleby przeznaczony do próbkowania (**Rysunek 2**). Poszczególne próbki, każda w objętości 100 ml, pobrano do sterylnych polipropylenowych pojemników.



Rysunek 1. Zdjęcia miejsc poboru próbek: 1) obszar znikomej roślinności, 2) obszar o średnim zagęszczeniu roślinności, 3) obszar pustynny bez roślinności, 4) obszar lasu w bezpośrednim sąsiedztwie pustyni.



Rysunek 2. Przedstawienie sposobu wyboru miejsca pobierania próbek (profil na głębokości 30 cm od powierzchni).

Pobrane próbki przetransportowano do laboratorium i pozostawiono w celu odparowania wody w suszarce laboratoryjnej typu SML 32/250 ZALMED w temperaturze 50°C przez 7 dni. Następnie próbki gleby rozdrobniono i zhomogenizowano w moździerz alundowym. Przed przystąpieniem do oznaczeń spektrometrycznych próbki poddano ekstrakcji sekwencyjnej. W tym celu odważono po 1 g przygotowanego proszku, a naważki przeniesiono do kolb stożkowych z 40 ml 0.11M kwasu octowego (POCH, Polska). Otrzymane zawiesiny mineralne poddano wytrząsaniu przez 10 minut (wytrząsarka laboratoryjna Elpan Laboratory Shaker Type 358S, prod. Polska). Zawartość kolb przelano kolejno do probówek wirówkowych i poddano wirowaniu przez 5 minut z prędkością 2500 r·min⁻¹ (wirówka laboratoryjna marki MPW-6, prod. Polska). Uzyskane ekstrakty (sekwencja pierwsza; elementy związane adsorpcyjnie i z węglanami) dla każdej z próbek oznaczono jako 1A, 2A, 3A, 4A (gdzie: 1, 2, 3, 4 – miejsce poboru próbki, A – kwas octowy) przeniesiono do szczelnych pojemników polipropylenowych. Pozostałość po wirowaniu przeniesiono przy pomocy 20 ml wody redestylowanej z powrotem do kolb, ponownie poddano wytrząsaniu przez 2 minuty oraz wirowaniu w czasie 5 minut z prędkością 2500 r·min⁻¹, po czym nadsącz usunięto, a próbkę przeniesiono ponownie do kolb przy użyciu 40 ml 0.5M chlorowodoru hydroksyloaminy (NH₃OH)Cl (POCH, Polska). Roztwór poddano wytrząsaniu przez 10 minut, a następnie wirowaniu przez 5 minut z prędkością 2500 r·min⁻¹. Otrzymane ekstrakty (sekwencja druga; elementy związane z uwodnionymi tlenkami żelaza i manganu) oznaczono jako 1B, 2B, 3B, 4B (gdzie: B – chlorowodorek hydroksyloaminy) przeniesiono do szczelnych pojemników polipropylenowych. Dodatkowo, w celu wyeliminowania potencjalnego wpływu tła na wykonywane oznaczenia, przeprowadzono identyczne operacje jednostkowe w tych samych warunkach bez dodawania analitu w celu wykonania próby zerowej (tzw. ślepej próby), w wyniku czego otrzymano ekstrakty (0A, 0B).

Do wykonania analizy ASA oraz ASE wykorzystano spektrometr ASA marki Perkin Elmer 3110 (prod. USA). Przed przystąpieniem do pomiarów właściwych, dokonano kalibracji instrumentu, używając w tym celu roztworów wzorcowych o zmiennych stężeniach kationów pierwiastków: Zn,

Mn, K, Na i Mg. Następnie wykreślono krzywe kalibracyjne – zależność pomiędzy stężeniem pierwiastka a zmierzoną absorbancją. W metodach emisyjnych, przy kalibracji aparatury zastosowano prawo Łomakina-Scheibego o nieliniowym (wykładniczym) przebiegu funkcji. Zależność tę wykorzystano do oznaczania sodu, natomiast w przypadku potasu krzywa kalibracyjna przy użytych stężeniach wzorca cechowała się liniowym przebiegiem. Długość fali i wielkość szczeliny monochromatora, dla których prowadzono pomiary absorbancji poszczególnych pierwiastków zestawiono w **Tabela 1**. Do określenia całkowitego stężenia cynku, manganu, magnezu, sodu i potasu mierzono absorbancję przygotowanych ekstraktów, stosując długość fali i wielkość szczeliny monochromatora o wartościach równych podanym dla kalibracji. Otrzymane w pomiarach spektrometrycznych stężenia rozpatrywanych pierwiastków w przygotowanych ekstraktach, przeliczono na zawartości poszczególnych pierwiastków w glebie według wzoru 1.

$$C_G = C_E \cdot V_E \cdot 1000 \text{ [ppm]} \quad (1)$$

C_G - zawartość pierwiastka w glebie wyrażona w ppm, C_E - stężenie pierwiastka w ekstrakcie, V_E - łączna objętość ekstrahentu A i B.

Tabela 1. Długość fali i wielkość szczeliny monochromatora w pomiarach spektrometrycznych.

Pierwiastek	Długość fali [nm]	Szczelina [nm]
Mn	2795	0.2
K	766.5	0.7
Na	589.0	0.2
Mg	285.2	0.7
Zn	213.9	0.7

W **Tabela 2**. zestawiono wyniki z wykonanej kalibracji spektrometru odpowiednio dla pierwiastków: Zn, Mn, Mg, K oraz Na. Jako S1, S2, S3 itd. oznaczone zostały kolejne roztwory wzorcowe.

Tabela 2. Dane z kalibracji dla pierwiastków Zn, Mn, Mg, K, Na.

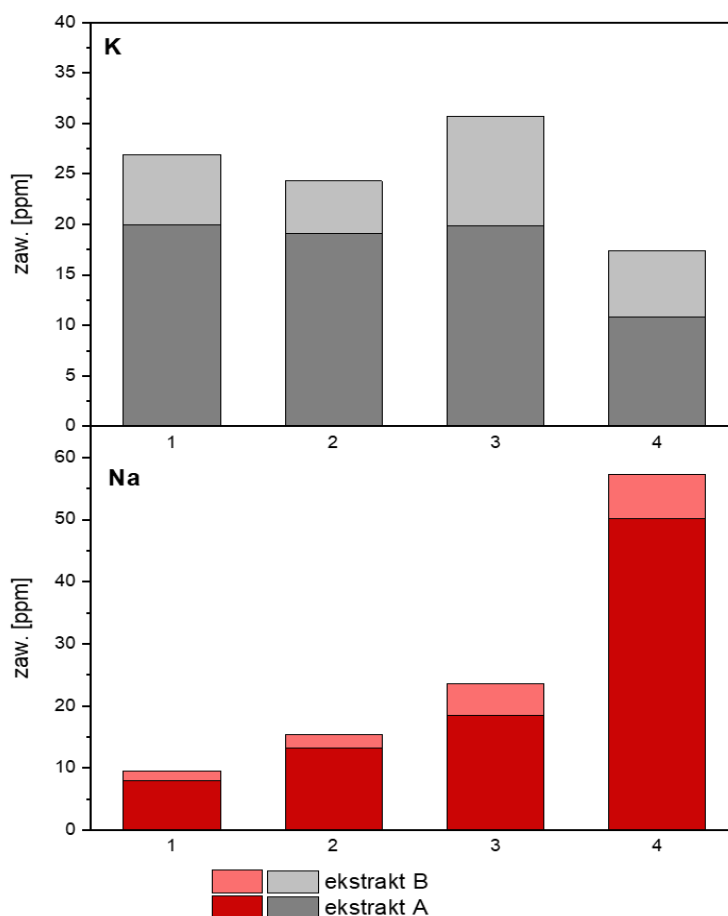
		Stężenie [mg/L]	Sygnal [-]	SD [mg/L]	RSD [%]
Zn	BLANK	0.000	0.000	0.000	0.0
	S1	0.250	0.123	0.001	3.1
	S2	0.500	0.235	0.002	0.7
	S3	0.750	0.332	0.002	0.7
Mn	BLANK	0.000	0.000	0.000	0.0
	S1	0.250	0.027	0.001	2.4
	S2	0.500	0.051	0.001	2.1
	S3	1.000	0.102	0.001	0.9
	S4	2.000	0.193	0.001	0.6
Mg	BLANK	0.000	0.001	0.000	9.7
	S1	0.100	0.067	0.000	0.7
	S2	0.200	0.077	0.001	0.7
	S3	0.300	0.122	0.000	0.0
	S4	0.400	0.157	0.000	0.1
	S5	0.500	0.231	0.001	0.6
K	BLANK	0.000	0.000	0.000	0.0
	S1	1.000	0.161	0.001	0.3
	S2	2.000	0.328	0.001	0.2
	S3	3.000	0.502	0.003	0.5
	S4	4.000	0.679	0.001	0.2
	S5	5.000	0.833	0.001	0.1
	S6	6.000	0.969	0.005	0.5
Na*	BLANK	0.000	0.000	0.000	0.0
	S1	1.000	0.286	0.001	0.3
	S2	2.000	0.488	0.002	0.3
	S3	3.000	0.640	0.002	0.4
	S4	4.000	0.771	0.002	0.3
	S5	5.000	0.879	0.001	0.1
	S6	6.000	0.975	0.003	0.3
	S7	8.000	1.138	0.002	0.1

*krzywa kalibracyjna wyraża się poprzez równanie potęgowe Łomakina-Scheibego w postaci $I = a \cdot b^c$

3. Wyniki i dyskusja

Analizując stężenia jonów pierwiastków w ekstraktach przedstawione oraz ich zawartości w badanej glebie wyrażone w ppm (**Tabela 3**, **Rysunek 3** i **4**), można zauważyć pewną tendencyjność zmian stężenia pierwiastków K oraz Mg w zależności od stopnia zagęszczenia roślinności. Dla potasu wartości stężenia maleją wraz ze wzrostem zagęszczenia roślinności: od (31.0 ± 0.2) ppm dla obszaru pustynnego bez roślinności (**Rysunek 3**), poprzez wartości (27.0 ± 0.1) ppm i (24.0 ± 0.5) ppm dla

obszarów pośrednich odpowiednio o roślinności znikomej i roślinności o średniej różnorodności. Najniższe stężenia potasu na poziomie (17.0 ± 0.1) ppm, występują w glebie na obrzeżach lasu położonego tuż obok obszaru Pustyni Błędowskiej. Stężenia magnezu zachowują podobną zależność, z tym że najwyższe, równe (11.0 ± 0.1) ppm odnotowano dla obszaru o znikomej roślinności, zaś nieco niższe, bo (9.0 ± 0.0) ppm, dla obszaru pustynnego bez roślinności (**Rysunek 4**). Dla pozostałych obszarów zachowana jest tendencja spadkowa stężeń magnezu wraz ze wzrostem zagęszczenia roślinności. Obniżenie zawartości tych pierwiastków wraz z rozwojem roślinności można tłumaczyć ich wzmożonym pobieraniem przez systemy korzeniowe roślin – magnez jest niezbędny do życia roślin jako podstawowy składnik chlorofilu, zaś potas odpowiada m.in. za gospodarkę wodną w komórkach roślin.

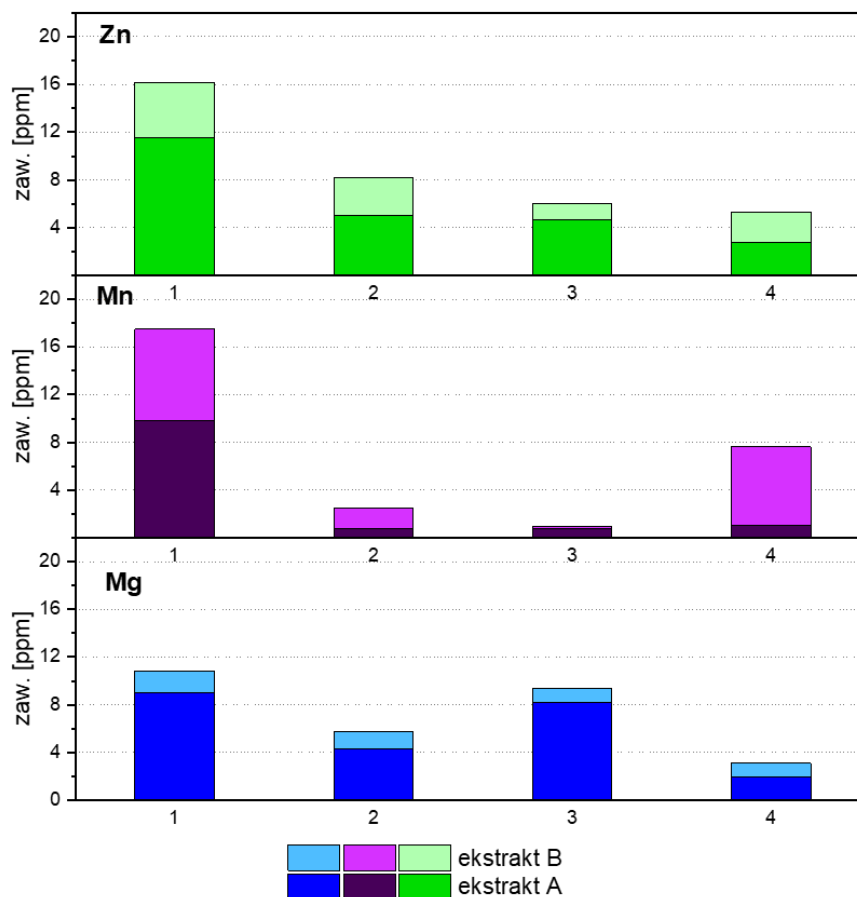


Rysunek 3. Zestawienie wyników analizy zawartości sodu i potasu uzyskanych na drodze dwuetapowej ekstrakcji sekwencyjnej otrzymanych metodą ASE. Podane wartości stężeń poszczególnych pierwiastków w ekstraktach z próbek gleby o masie 1 g z obszarów: 1 - znikomej roślinności, 2 - średniej ilości roślinności, 3 - pustynnego bez roślinności, 4 - lasu sosnowego znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie pustyni.

W przypadku pozostałych oznaczanych pierwiastków, tj. cynku, manganu i sodu, nie sposób stwierdzić prostej zależności dla ilości pierwiastków wraz ze zmieniającą się gęstością i zróżnicowaniem roślinności. Przykładowo, największa zawartość sodu występuje w obszarze lasu iglastego i jest ponad dwukrotnie wyższą porównaniu do próbek z pozostałych badanych obszarów. Można domniemywać, że wpływa na to silniej rozwinięty system korzeniowy, który sięga do głębszych warstw gleby, z których pobierano próbki. To sprawia, że w okolicach korzenia znajduje się znacznie więcej sodu, który jest jednym z podstawowych makroelementów obecnych w organizmach

roślinnych. Innymi źródłami sodu mogą być: grubsza warstwa gleby żyzniejszej niż piaszczysta, powstała w wyniku rozkładu materii organicznej z obumierających roślin na terenie lasu lub obecność zwierząt, które wzbogacają glebę w sole mineralne, wydzielając wszelkiego rodzaju ekskrementy lub pozostawiając resztki żywności. Interesującym zjawiskiem jest również zauważalnie wyższa zawartość sodu w glebie, na powierzchni której nie rozwinęła się roślinność względem miejsc gdzie wykształciły się trawy i niskie rośliny o małym zagęszczeniu. Podobieństwa w wierzchnich przekrojach warstw gleby w miejscach oznaczonych na **Rysunek 3** i **4** oraz w **Tabela 3** cyframi 1-3, sugerują, że zdolność akumulacyjna w glebach z tych obszarów jest zbliżona, a w miejscach z rozwiniętą szczątkową roślinnością, znaczna część sodu jest pobierana przez rośliny, co obniża jego zawartość w glebie.

Dla mikroelementów (Zn i Mn) najwyższa ich zawartość: 16.0 ± 0.1 ppm dla cynku i 17.0 ± 0.7 ppm dla manganu, występuje w obszarze słabo rozwiniętej roślinności. Może to wynikać z ogólnego zakwaszenia obszaru, charakterystycznego dla Pustyni Błędowskiej [12-13], które znacząco wzmacnia przyswajanie tych pierwiastków. Najniższe zawartości cynku i manganu w obszarze pustynnym (nr 3), sprawiają że nie rozwija się tam żadna roślinność, gdyż są to kluczowe mikroelementy wspomagające proces fotosyntezy, syntezy białek czy przyswajania przez rośliny związków azotu.



Rysunek 4. Zestawienie wyników analizy zawartości cynku, manganu i magnezu uzyskanych na drodze dwuetapowej ekstrakcji sekwencyjnej otrzymanych metodą ASA. Podane wartości zawartości poszczególnych pierwiastków w ekstraktach z próbek gleby o masie 1 g z obszarów: 1 - znikomej roślinności, 2 - średniej ilości roślinności, 3 - pustynnego bez roślinności, 4 - lasu sosnowego znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie pustyni.

Tabela 3. Zestawienie wartości stężeń i zawartości poszczególnych pierwiastków w próbkach gleby wraz z odchyleniem standardowym.

Pierwiastek	Próbka	Stężenie [mg/L]	SD [mg/L]	Zawartość [ppm]	Ekstrakt A+B [ppm]	SD [ppm]
Zn	1A	0.288	0.000	12.0	17.0	0.0
	1B	0.116	0.003	5.0		0.1
	2A	0.125	0.002	5.0	8.0	0.1
	2B	0.081	0.003	3.0		0.1
	3A	0.117	0.001	5.0	6.0	0.0
	3B	0.033	0.003	1.0		0.1
	4A	0.068	0.001	3.0	6.0	0.0
	4B	0.065	0.003	3.0		0.1
Mn	1A	0.245	0.018	10.0	18.0	0.7
	1B	0.193	0.007	8.0		0.3
	2A	0.019	0.001	1.0	3.0	0.0
	2B	0.043	0.008	2.0		0.3
	3A	0.019	0.003	1.0	1.0	0.1
	3B	0.005	0.007	0.0		0.3
	4A	0.026	0.016	1.0	8.0	0.6
	4B	0.165	0.003	7.0		0.1
Mg	1A	0.226	0.001	9.0	11.0	0.0
	1B	0.045	0.003	2.0		0.1
	2A	0.107	0.002	4.0	5.0	0.1
	2B	0.036	0.000	1.0		0.0
	3A	0.205	0.000	8.0	9.0	0.0
	3B	0.030	0.000	1.0		0.0
	4A	0.050	0.000	2.0	3.0	0.0
	4B	0.028	0.000	1.0		0.0
K	1A	0.500	0.004	20.0	27.0	0.1
	1B	0.173	0.001	7.0		0.0
	2A	0.476	0.014	19.0	24.0	0.5
	2B	0.131	0.001	5.0		0.0
	3A	0.496	0.003	20.0	31.0	0.1
	3B	0.271	0.005	11.0		0.2
	4A	0.271	0.000	11.0	17.0	0.0
	4B	0.165	0.002	7.0		0.1
Na	1A	0.200	0.001	8.0	10.0	0.0
	1B	0.038	0.001	2.0		0.0
	2A	0.329	0.004	13.0	15.0	0.2
	2B	0.057	0.001	2.0		0.0
	3A	0.463	0.001	19.0	24.0	0.0
	3B	0.126	0.001	5.0		0.0
	4A	1.254	0.003	50.0	57.0	0.1
	4B	0.176	0.000	7.0		0.0

4. Wnioski

Przedstawione wyniki badań w niniejszej pracy nie pozwalają na stwierdzenie jednoznacznej zależności między występowaniem roślinności szczątkowej a pierwiastkami śladowymi, jednakże pozwalają wysunąć interesujące wnioski dotyczące składu chemicznego gleb piaszczystych obszaru Pustyni Błędowskiej. Otrzymane wyniki sugerują występowanie silnie zasolonych i zakwaszonych gleb piaszczystych. Stosunkowo niskie wartości zawartości cynku w porównaniu do innych gleb Wyżyny Olkuskiej skażonych tym metalem, wynikają ze stosunkowo dużego stopnia przepuszczalności piasku oraz związanych z nim intensywnymi procesami wymywania soli mineralnych. Według badań Oimahdana Rahmanova [14], w różnych miejscach Pustyni Błędowskiej na głębokościach w okolicy 30 cm, zawartości magnezu, potasu i sodu wahają się w przedziałach:

- 7.0 ÷ 20.0 ppm (kolejno: gleba pod roślinami; gleba „łysa”) dla magnezu,
- około 4.0 ppm dla potasu,
- 2.0 ÷ 12.0 ppm (kolejno: gleba „łysa”; gleba pod drzewami iglastymi) dla sodu, przy czym dla gleby z roślinami niskimi ta zawartość wynosiła ok. 9 ppm.

Otrzymane wyniki, opisane w niniejszym artykule są zbliżone dla magnezu: 3.0 ÷ 11.0 ppm; dla sodu zaś zachowują podobną zależność – ilości pierwiastków wzrastają ze stopniem rozwoju roślinności, przy czym zachowują stosunkowo wysoką wartość dla obszarów bez rozwiniętej roślinności.

W przypadku porównania zawartości manganu i cynku w glebie posłużono się danymi z badań różnych rodzajów gleb. I tak dla form ogólnych manganu, jego zawartość mieściła się w zakresie 33.2 do 880.4 ppm, zaś dla cynku od 29.4 do 214.7 ppm [15]. To czyni glebę Pustyni Błędowskiej ubogą w powyższe mikroelementy z zawartościami cynku i manganu poniżej dolnej wartości przedziału przytoczonych wyników, co również można wiązać z przytoczonymi wyżej procesami wymywania soli mineralnych.

Literatura

- [1] M. C. Peel, B. L. Finlayson, T. A., Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification McMahon; HAL, 2007
- [2] Strona internetowa Nadleśnictwa Olkusz: olkusz.katowice.lasy.gov.pl (dostęp: 11-11-2019).
- [3] H. Bryś, P. Gołuch, Pustynia błędowska dawniej i dziś – interpretacja wieloczasowych zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych, Acta Scientiarum Polonorum. Geodesia et Descriptio Terrarum, 2011
- [4] T. Filipek, S. Chwil, J. Domańska, Chemia rolna: Podstawy teoretyczne i analityczne. Lublin, Wyd. Akad. Roln. 2006.
- [5] D.L. Sparks, Bioavailability of soil potassium. Handbook of Soil Sciences: Resource Management and Environmental Impacts, Second Edition. Boca Raton, 2011
- [6] I. Burzyńska. Potas w glebie, roślinności i płytkich wodach gruntowych na tle zróżnicowanego użytkowania, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2012
- [7] R. Munn, R.A. James, A. Läuchl. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. J Exp Bot. 2006
- [8] L. Xion, J.K. Zhu, Salt tolerance. The Arabidopsis book. Rockville, American Society of Plant Biologists, 2002
- [9] L. Taiz, E. Zeiger, Plant physiology. (3 ed.). Sunderland: Sinauer Associates, Inc., Publishers., 2002
- [10] C. Bould, E. J. Hewitt, Mineral nutrition of plants in soils and in culture media. Plant physiology a treatise, vol. I II, 15-133, Acad. Press. New York 1963.
- [11] A. Musierowicz, Niektóre mikroelementy w glebach. Roczn. glebozn., 1960
- [12] Skawina T.: Procesy zniekształcania gleb w okręgach górniczych i przemysłowych. Roczn. glebozn., t. 7, dodatek, 1958.
- [13] O. Rahmonow, Z. Snieżko, Proces wietrzenia lotnych piasków Pustyni Błędowskiej podczas ostatnich 30 lat (Wyżyna Śląska, południowa Polska). Acta Agrophys. 2003
- [14] O. Rahmonow, Relacje między roślinnością i glebą w inicjalnej fazie sukcesji na obszarach piaszczystych, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 2007

- [15] M. Koncewicz, K. Gondek, *Zawartość pierwiastków śladowych w glebach użytkowanych rolniczo*, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, 2010