

Н. Н. МИРОШНИЧЕНКО*, А. В. ТЕРТИШНАЯ*, В. Б. СОЛОВЕЙ*, И. ПАЧЕВ**, Т. М. МИНКИНА***

*Институт по почвознание и агрохимия „А. Н. Соколовский“, Харков, Украйна

**Институт по лозарство и винарство, Плевен

***Южен федерален университет, Ростов на Дон, Русия

Пространствена нееднородност на условията на микроелементното хранене на растенията на склонови почви

Spatial Heterogeneity of the Conditions for Micronutrient Plant Nutrition on Slope Soils

N. N. Miroshnichenko, A. V. Tertishnaya*, V. B. Solovey*, I. Pachev**, T. M. Minkina****

**A. N. Sokolovskiy Institute of Soil Science and Agrochemistry, Harkov, Ukraine*

***Institute of Viticulture and Enology, Pleven, Bulgaria*

****Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*

Abstract

The problem of fortification of micronutrient plant nutrition is of present interest due to the high level of pH and carbonates content in soil, which are closely connected with each other and have a determining influence on the adsorption and transformation of trace elements in soil. Similar effects of trace elements deficiency determined by the same reasons are often observed in most northern regions of Ukraine, Bulgaria and Russia. This is most typical of the “warm” slopes exposed to south, south-east and south-west where due to increased solar radiation in the absence of trees there are conditions for enhanced transpiration with dominant upward water flow in soil. Redistribution of heat and moisture from the landscape is an integral feature of the soil formation in slopes, leading to spatial differentiation of soil profile depth, intensity of humus accumulation, depth of boiling of carbonates, etc.

However researchers have not associated to the present the specifics of soil formation on slopes with the edaphic conditions of germination of crops located in different places on the slope.

The sloped soils on the left banks of the steppe in Ukraine are characterized by a high degree of spatial heterogeneity in the conditions of micronutrient nutrition of plants associated with abrupt differences in terms of pH, carbonates content, clay minerals and organic matter in the various parts of the slope.

As a result, in those parts of the slope where the water-soluble carbonates are elevated to the surface, it is detected deficiency of such physiologically needed elements as Zn, Mn, Fe, Co. The soil mineral composition and its clay part and mainly montmorillonite, mixed layer minerals and quartz have a great impact on the mobility and accumulation of trace elements in sloped soils.

Key words: slope soils, micronutrients, Zn, Mn, Fe, Co, nutrition of plants

Проблемът за подобряване на условията на микроелементното хранене на растенията е актуален за цялата територия на Северното Причерноморие вследствие на високото равнище на рН и съдържанието на карбонати в

почвата, които са тясно свързани помежду си и оказват определящо влияние на адсорбцията и трансформацията на микроелементи в почвата (Ковда, 1985; Минкина и кол., 2012). В повечето северни райони на Украйна, Бъл-

гария и Русия често се наблюдават аналогични ефекти на дефицит на микроелементи, обусловени от същите причини (Алексеенко и кол., 1993; Фатээв, Пащенко, 2003). В най-голяма степен това е характерно за „топлиите“ склонове с експозиция на юг, югоизток, и югозапад, където вследствие на увеличеното слънчево греене при отсъствие на дървесна растителност се създават условия за усиlena транспирация, в която преобладават възходящите водни потоци в почвата. Преразпределението на топлината и влагата от релефа е неотделима черта на склоновото почвообразуване, водещо до пространствена диференциация на почвата по мощност на профила, интензивност на натрупване на хумус, дълбочина на кипене на карбонатите и др. На териториалната локализация тези процеси оказват влияние на строежа и формата на склона, на неговата експозиция, дъгата на наклона и наличието на микрорелефни понижения. Във връзка с това склоновите почви са представени в пет групи (видове) почви, които съществено се различават по морфогенетични особености и плодородие вследствие на различната влагообезпеченост (Полупан и кол., 2005). Голямата аридизация на склоновите местообитания в сравнение с платото, обуславят намаляване на зоната на влагооборота с 10 – 50%, което обуславя по-близо до повърхността натрупване на карбонати и честа повтораемост на тяхната възходяща миграция във високолежащите хоризонти. Миграционно-пулсиращият режим на калциевия карбонат е динамичен в годините и сезоните, обуславя се от териториалното вариране и тяхното съдържание в генетичните хоризонти на профила на почвата. По такъв начин даже в районите на оподзолени почви (Сиви горски, Тъмносиви оподзолени и оподзолени Черноземи) се забелязва нехарактерна за тази зона висока линия на кипене, която се нарича „реградирана“. Местата на разпространение на такива тъмносиви и черноземни реградирани почви са описани в научната литература от Набоких (1912), както и от Шелякин (1993) и се намират на Лявобреговата Лесостепна зона на Украйна, където са проведени настоящите изследвания. Независимо от това до този момент изследователите не са свързвали спецификата на склоновото

почвообразуване с едафичните условия на прорастване на културните растения, които се намират на различните места по склона.

Целта на проведеното изследване беше да се изучат основните фактори, влияещи на микроелементния състав в почвения и растителен покров, склоновите елементи на релефа и изясняване на закономерностите и тяхното пространствено разпределение.

Материал и методи

За обекти на изследването са избрани пет типични почви за ландшафта на лявобреговата лесостеп на Украйна, овражната система на която репрезентативно характеризира разнообразните условия на склоновото почвообразуване. От факторите, които определят микроелементното хранене на растенията са изучени: рН във воден и в солев извлек (1N KCl), съдържанието на хумус в почвата, иловата фракция (< 0,001 mm) и съставът на глинестите минерали.

Иловата част на почвата е определяна по Горбунов (1963), минералният състав е определян след разлагането на органичните съединения с H_2O_2 , отделяне на R_2O_3 в извлек на Мер и Джексън и наситен магнезий в 1N MgCl. *Подготвяне на образците за анализ:* 1) насищане с етиленгликол, 2) нагряване в продължение на 2 часа при 350 °C, 3) нагряване 2.5 часа при 550 °C. Глинестите минерали са определени на рентген – дифрактометричен метод в режим: медно излъчване, филтруване с никел, при напрежение 25 kV, при сила на тока 10 mA процеп 1-05-05-025 mm, скорост на въртене на образеца – 1° за минута.

Съдържанието на микроелементи в почвата е определено с атомно-абсорбционния метод съобразно националните стандарти на Украйна: подвижните форми – в ацетатно-амониев буферен разтвор с рН 4,8 (екстрахиране по метода на Крупски – Александрова), стабилно свързани форми – в извлек 1N HCl (екстрахирани по метода на Пейве – Ринкис).

Съдържанието на микроелементи в растенията е определяно също с атомно-абсорбционния метод след електротермична минерализация при 450 °C. За определяне потребностите на растенията с микроелементи е използван методът на функционалната диагностика – по Ягодин, при който се използва реакцията на

Хил след добавяне към суспензията на хлоропласти, съответстващи на елементите на хранене.

Резултати и обсъждане

Изследваните склонове се характеризират със силна латерална и радиална диференциация на микроелементния състав на почвата. Основна причина за това се явяват индивидуалните особености на хидротермичните условия в различните части на склоновата форма на повърхността.

На склоновете до 3° – 5° се наблюдава издигане на карбонатите към повърхността на почвата, което води до намаляване подвижността Zn, Mn, Co, Fe, като се създава по такъв начин дефицит на тези елементи при храненето на растенията. Дълбочината на слоя на водоразтворимите карбонати с повишено рН (до 7,8 – 8,0) е различна – от 50 см до самата повърхност на почвата и може да се изменя в различните периоди на годината. Този слой се явява природна алкално-карбонатна бариера, която намалява подвижността на та-

ква микроелементи като кобалт, мед, цинк и манган (табл. 1).

Такава значителна диференциация на склоновете по съдържание на подвижните микроелементи в почвата е характерна и за два други обекта на изследване, разположени на по-полегати склонове. На по-стръмните склонове (до 15° – 20°) биологичната акумулация на микроелементите в горната част на профила на почвата е по-малка, отколкото на полегатите склонове, което е свързано с влошаване на водообезпечеността им. За разлика от полегатите склонове издигането на водоразтворимите карбонати на повърхността на почвата не се наблюдава, което е свързано с бързото засушаване на почвата и отсъствие на възходящо движение на влагата.

Растителната диагностика в условията на микроелементно хранене е проведена с пирей (*Agropyrum repens*). Това плевелно растение, използвано в случая като тест-обект, е повсеместно разпространено и локализацията на кореновата му система е в повърхностния слой на почвата. Независимо от другите жит-

Таблица 1. Разпределение на подвижните форми на микроелементите по профила на оподзолени Черnozemi в различните части на склона

Table 1. Distribution of mobile forms of microelements in profile of Podzolic Chernozems in different parts of the slope

Част на склона	Дълбочина, см	Съдържание на подвижните форми на микроелементите, mg/kg							
		Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Горна	0 – 34	0,015	0,21	0,10	0,30	1,60	0,49	0,33	0,20
	34 – 59	0,035	0,23	0,35	3,35	5,97	0,40	0,47	0,17
	59 – 79	0,040	0,25	-	8,16	18,4	0,49	0,92	0,35
	79 – 120	0,059	0,23	0,74	5,34	16,8	2,02	0,97	0,62
Средна	0 – 31	0,033	0,92	0,50	3,76	45,1	2,46	1,19	0,74
	31 – 50	0,026	0,93	0,48	3,35	34,0	1,24	1,21	0,18
	50 – 79	0,014	0,91	0,51	1,78	23,8	1,23	1,03	0,38
	79 – 120	0,030	0,84	0,17	4,51	38,3	0,63	1,28	0,50
Долна	0 – 26	0,031	0,90	0,78	2,10	78,3	2,28	1,06	2,13
	26 – 46	0,019	0,73	0,78	2,29	7,7	1,27	0,72	4,76
	46 – 90	0,056	0,66	1,19	1,59	11,7	2,47	1,52	1,97

Таблица 2. Резултати от функционалната диагностика на хранене на тест-растенията (*Agropyrum repens*) в различните части на склона

Table 2. Results of functional diagnostics of the feeding of the test plants (*Agropyrum repens*) in different parts of the slope

Части на склона	Потребност на хранителни елементи (в условни проценти)*										
	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	Co
Горна	20	4	0	0	0	0	0	0	6	22	56
Средна	0	0	0	32	0	30	11	0	7	0	0
Долна	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0

*(+) - излишък на елемента; (-) - недостатък; (0) - оптимум.

Таблица 3. Корелационна връзка между съдържанието на микроелементи в иловата фракция и съдържанието в нея на глинести минерали

Table 3. Correlation between the content of microelements in clay fraction and the content of clay minerals in it

Компоненти на почвата	Коефициент на корелация (r)								
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Монтморилонит	0,48	-0,30	-0,41	-0,18	-0,38	-0,43	-0,34	-0,54	-0,52
Смесенослойни	-0,45	0,43	0,58	0,11	0,52	0,57	0,46	0,41	0,56
Хидрослюди	0,00	-0,17	-0,05	-0,02	0,02	-0,07	-0,06	0,34	0,10
Каолинит	-0,39	-0,03	0,35	0,02	0,05	-0,15	0,01	-0,20	0,02
Илит	-0,03	0,27	-0,16	0,32	0,11	0,34	0,17	0,43	0,29
Кварц	-0,27	0,70	0,55	0,30	0,94	0,62	0,83	0,42	0,79
Хлориди	-0,20	0,27	0,19	-0,41	0,41	0,71	0,54	0,25	0,38
Хумус	-0,27	0,12	0,03	0,21	0,13	0,14	0,16	0,42	0,41
pH	-0,05	0,65	0,02	0,24	0,43	0,70	0,72	0,30	0,48

Забележка. Връзките при $p = 0,05$ са означени с шрифт „Bold”.

Таблица 4. Корелационни връзки между съдържанието на подвижните форми на микроелементите в почвата и съдържанието в нея на глинести минерали

Table 4. Correlation between the content of mobile forms of microelements in soil and content of the clay minerals in it

Компоненти на почвата	Коефициент на корелация (r)								
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Монтморилонит	0,15	0,03	-0,16	0,06	-0,20	-0,16	-0,13	0,23	0,08
Смесенослойни	-0,10	0,08	0,04	-0,06	0,08	0,02	0,02	-0,21	-0,21
Хидрослюди	0,28	0,24	-0,14	-0,42	0,53	-0,05	0,02	0,27	0,04
Каолинит	-0,55	-0,39	0,58	0,54	0,06	0,45	0,54	-0,26	0,35
Илит	0,11	-0,09	-0,16	-0,16	-0,40	-0,05	-0,38	-0,14	-0,36
Кварц	0,21	-0,05	-0,11	-0,37	-0,13	-0,33	-0,26	0,20	-0,44
Хлориди	0,14	-0,14	-0,24	-0,25	0,07	-0,29	-0,24	-0,09	-0,18
Хумус	-0,07	0,35	0,08	-0,21	0,23	0,02	-0,18	-0,01	-0,00
pH	0,10	0,02	-0,19	-0,11	-0,42	-0,25	-0,37	-0,26	-0,18

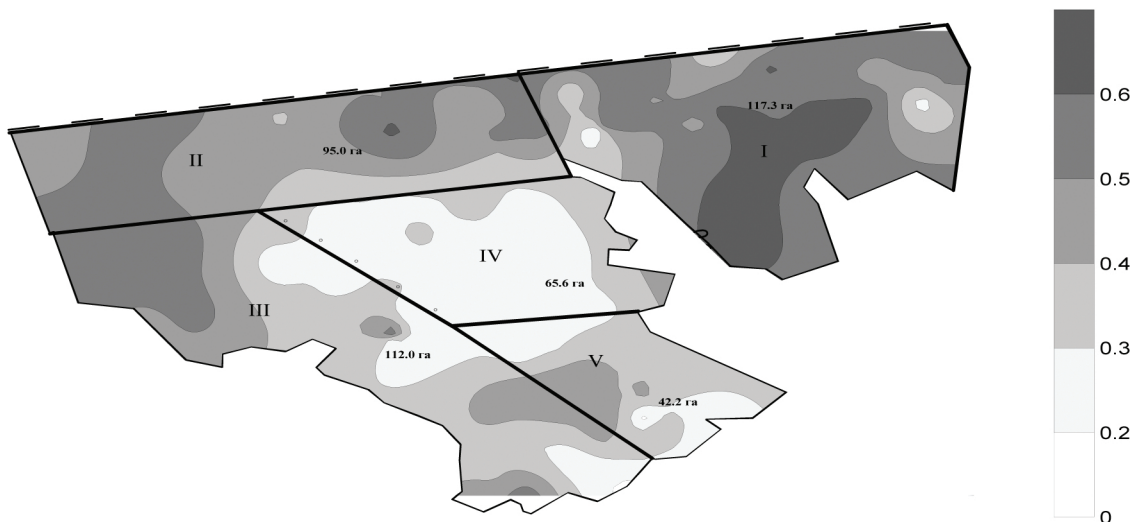
Забележка. Връзките при $p = 0,05$ са означени с шрифт „Bold”.

ни, *Agropyrum repens* притежава способността да отделя фитонциди, поради което може да натрупва микроелементи дори и в условията на недостиг. За по-обективна оценка на условията на микроелементно хранене при тест-растенията е за предпочитане да се използва методът на функционалната диагностика: при добавяне на определен микроелемент към суспензията от хлоропласти в условия на дефицит ще се наблюдава увеличение на неговата фитохимична активност, а в условията на излишък – намаление.

Резултатите от изследванията показват, че в горната част на склона, където протича издигане на водоразтворимите карбонати на повърхността, е установен дефицит на Zn, Mn, Fe, Co (табл. 2). В средната част на склона,

където карбонатите се намират на дълбочина до 50 cm е установен недостиг на S, Mg, B и Zn. В най-ниската част на склона дефицит не се наблюдава. По такъв начин се потвърждава хипотезата за значителната диференциация на склоновете по отношение на условията на микроелементно хранене на растенията.

Полученият фактически материал от изследването ни дава възможност да кажем за коя сметка и кои почвени компоненти формират пространствената нееднородност на микроелементния състав на склоновете почви. Анализираниите 83 образци от 19 профила почвени проби са оценени в съответствие с нормалния закон на разпределяне. Относно съдържанието на частици от иловата фракция и нейният преобладаващ компонент – монтмо-



Фиг. 1. Съдържание на подвижния Co в почвите на фермерското стопанство
 Fig. 1. Contents of mobile Co in soils of the farm

рилонит, 72 – 76% от наблюденията отговарят на критерия на нормалността при използване на корелационно-регресионния анализ. Резултатите от статистическата обработка на данните показват, че най-голямо влияние за натрупване и подвижност на микроелементи в почвата оказва минералният състав и съдържанието на ил в почвата. Съдържанието на монтморилонит има положителна корелация с натрупването на Cd, а смесенослойните минерали – на Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb и Zn в глинестия материал (табл. 3).

Аналогични закономерности при поглъщането на Pb са отбелязани от Supos (2004), а по отношение на Zn и Cd – от Shukia (2000). Още по-тясна връзка с натрупването на тези елементи има кварцът, тъй като образуваното филмче на повърхността на кварцовите зърна се явява най-добрият адсорбент на тежките метали (Abd-Elfattan, Wada, 1981).

За разлика от слабодисперсните части, натрупването на подвижните форми Cr, Cu, Mn, Ni, Zn в почвата като цяло е свързано със съдържанието на каолинит, което е свързано със спецификата на склоновото почвообразуване (табл. 4). Хумусът оказва сравнително неоглямо влияние върху съдържанието на различните форми на микроелементите. Ниската корелация между органичното вещество и екстрахируемите количества тежки метали отбелязват още Филчева и кол. (2011). В условията на интензивното развитие на процесите на прераз-

пределение на веществата в трансилувиални елементи на геохимическия ландшафт, биологическото натрупване има второстепенно значение.

С развитието на технологиите за пространственото вариране в земеделието възниква въпросът от необходимост за диференцирано прилагане на микроторовете.

От проведените изследвания се вижда, че дори в относително неголемите фермерски стопанства с площ над 400 ha, разположени на склонови земи с разлика във височината на отделните полета до 20 m, колебанието на съдържанието на подвижните форми на микроелементите в почвата може да съставя две агрохимични градации, т. е. може да се наблюдава както повишена, така и ниска обезпеченост (фиг. 1). От картограмата се вижда, че отделните полета (IV) имат изравнено съдържание на подвижен кобалт, но в повечето случаи обезпечеността с този елемент в почвата силно варира.

Следователно за постигане на максимална рентабилност на селскостопанското производство, на нивите, разположени по склоновете е целесъобразно да се направи парцелизация на полетата при подхранване, а условията за микроелементно хранене на растенията не е необходимо да се оценяват от средните данни от полето, а от данните на отделните участъци.

Изводи

Склоновите почви на лявобреговата степ на Украйна се характеризират с висока степен на пространствена нееднородност при условията на микроелементно хранене на растенията, свързано с резки различия по отношение на рН, съдържание на карбонати, глинести минерали и органично вещество в различните части на склона. Вследствие на това в тези части на склона, където протича издигане на водоразтворимите карбонати към повърхността, се открива дефицит на такива физиологично необходими елементи като Zn, Mn, Fe и Co.

Голямо влияние на подвижността и натрупването на микроелементите на склоновите почви оказват минералният състав и съдържанието на ил, и преди всичко монтморилонитът, смесенослойните минерали и кварцът.

Литература

Алексеев, В. А., Суворинов, А. В., Бофанова, А. Б. 2002. Металлы в окружающей среде. Почвы Ростовской области. *Логос*, Москва

Горбунов, Н. И. 1963. Высокодисперсные минералы и методы их исследования. *АН СССР*, Москва, с. 169-176

ГОСТ 26929-86. 1986. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов.

ДСТУ 4770.1-9. 2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю (цинку, кадмію, заліза, кобальту, міді, нікелю, хрому, свинцю) в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопометрії.

Кухарук, Н. С. 2011. Микроморфологические особенности органического вещества при агрогенной трансформации почв Лесостепной зоны. Научные ведомости Белгородского ун-та. Серия: Естественные науки, т. 16. № 15, с. 168-179

Минкина, Т. М., Ендовицкий, А. П., Калинин, В. П., Федоров, Ю. А. 2012. Карбонатно-кальциевое равновесие в системе вода-почва. *ЮФУ*, Ростов-на-Дону, 376 с.

Набоких, А. И. 1912. Распределение карбонатов в почвах юго-западной России. *Хозяйство*, 22.

Полупан, М. І., Соловей, В. Б., Кисіль, В. І., Величко, В. А. 2005. Визначник еколого-генетичного

статусу та родючості ґрунтів України. Колобів, Київ, с. 125-129

Шелякин, Н. М. 1993. Пути управления почвообразовательным процессом склоновых земель центра русской равнины. Дисертация. Харьковский аграрный ун-т им. В. В. Докучаева, 71 с.

Фатєєв, А. І., Пащенко, Я. В. 2003. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. *ННЦ ІГА*, Харків, 117 с.

Филчева, Е., Н. Динев, М. Христова, Л. Станиславова. 2011. Съдържание и състав на органичното вещество на замърсени с тежки метали почви от района на Кремиковци. *Почвознание агрохимия и екология*, XLV, Приложение № 1-4, с. 98-103

Abd-Elfattan, A., Wada, K. 1981. Adsorption of lead, copper, zinc, cobalt and cadmium by soils that dipper in cation-exchange material. *Journal of Soil Sci.*, V. 32, p. 271-283

Sipos, P. 2004. Geochemical factors controlling the migration and immobilization of heavy metals as reflected by the study of soil profiles from the Cserhát Mts. PhD Theses of Earth Sciences Geology and Geophysics. Budapest: Laboratory for Geochemical Research, Hungarian Academy of Science. p. 16

Shukia, L. M. 2000. Sorption of zinc and cadmium on soil clays. *Agrochimica*, V. 44, № 3-4, p. 101-106