

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“

ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ

Том 109

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”

FACULTY OF GEOLOGY AND GEOGRAPHY

Book 2 – GEOGRAPHY

Volume 109

---

ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ  
НА РАДИАЛНАТА СТРУКТУРА В ПОЧВИТЕ  
НА СТАРОЗАГОРСКОТО ПОЛЕ

ДИМИТЪР ЖЕЛЕВ

*Катедра Ландшафтознание и опазване на природната среда*  
e-mail: dimitar.zhelev@gmail.com

*Dimitar Zhelev. LANDSCAPE-GEOCHEMICAL RESEARCH OF THE SOILS' RADIAL STRUCTURE IN THE STARA ZAGORA PLAIN*

The article is dedicated to the geochemical analysis of soils' radial structure in the Stara Zagora plain in South Bulgaria. The landscape-geochemical status evaluation on the basis of own field and laboratory research of the territory have been implemented. The heavy metals' content in the selected soil profile of landscapes have been identified. Analyzes and comparisons of the different soil layers have been done. Research outcomes about the landscape geochemical status of soils have been obtained.

*Key words:* landscapes, geochemistry, soils, heavy metals, soil profile, radial structure.

При ландшафтните теренни изследвания едно от най-важните звена е описването на диференциацията в различни радиални профили. Ландшафтнo-гeохимичният анализ на дадена територия започва именно с изучаването на радиалната геохимична диференциация в даден участък. Радиалната структура на ЕЛГС обикновено се характеризира с редица ландшафтнo-гeохимични коефициенти, отразяващи взаимоотношенията между отделните системи: почва–растение, скала–почва, атмосфера–почва и др. (Пенин, 1997).

За установяване на радиалната диференциация на елементите в почвените профили се прилага коефициентът на радиална диференциация ( $K_r$ ), известен също и като

коэффициент  $R$ , представляващ отношението на съдържанието на даден елемент в съответния почвен хоризонт ( $C_n$ ) към неговото съдържание в почвообразуващата скала или най-ниско разположения почвен хоризонт ( $C_1$ ).

$$R = \frac{C_n}{C_1} .$$

Изучаването на радиалната диференцията на химичните елементи позволява да се разкрият основните зони на натрупване на елементите и да се проучат концентрационните механизми, които водят до възникването на радиалните геохимични бариери. Своеобразието на всяка от тези бариери се фиксира от парагенетичната асоциация от елементи, която, от своя страна, може да се смята като важен геохимичен показател (Авессаломова, 1987).

При изследването на радиалната миграция на елементите трябва да се има предвид, че миграционните потоци във вертикалния профил на ландшафта могат да имат посока не само отгоре надолу, но и обратно, т. е. радиалните бариери отразяват вертикалната геохимична контрастност и диференцираност както на елувиалните, така и на супераквалните ландшафти. Концентрацията на химичните елементи на бариерите може многократно да превишава техните средни съдържания в съседните или във вместиращите ги хоризонти (Пенин, 1997).

За разкриване на радиалната (вертикалната) диференциация на тежките метали в типичната почвена покривка на Старозагорското поле (Източна Горнотракийска низина) са проучени 4 радиални профила. Направена е графична интерпретация на стойностите на коефициента на радиална диференциация  $R$ . Изследването е част от цялостното ландшафтно-геохимично проучване на ландшафтите във водосборния басейн на р. Сазлийка.

## МЕТОДОЛОГИЧНИ ОСНОВИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Теренните проучвания включват детайлни описания на почвените профили на различни типове почви в характерни ЕЛГС, с цел разкриване на техните морфологични и геохимични особености. В геохимично отношение радиалната (вертикалната) структура се характеризира с редица ландшафтно-геохимични коефициенти, които отразяват взаимодействието между системите: почвени хоризонти, почва-скала, почва-растение, атмосфера-почва и др.

Един от най-често използваните коефициенти в почвената геохимия е елувиално-аккумулятивният –  $Kea$ , представляващ отношението на съдържанието на даден елемент в почвата (или изветрителната кора) към неговото съдържание в почвообразуващата скала. Често пъти сложността при анализа и интерпретацията на данните за елувиално-аккумулятивния коефициент  $Kea$  възниква при нееднородна литогенна основа на елементарния ландшафт. Ето защо се използва още и коефициентът на радиална диференциация –  $Kr$ , или известен още като коефициент  $R$  (Авессаломова, 1987). Особено важно е да се знае, че при изследване на радиалната диференциация на елементите миграционните потоци във вертикалния профил на ландшафта (и почвата в

частност) могат да имат посока не само отгоре надолу, но и обратно. Това позволява да се установят радиални бариери, отразяващи вертикалната геохимична контрастност и диференцираност както на алувиалните, така и на супераквалните, подчинени ландшафти. В редица случаи концентрациите на химичните елементи на бариерите е възможно да превишават многократно техните съдържания в съседните или вместиращите ги хоризонти.

Анализът и интерпретацията на получените данни от анализите наложи изработването на почвено-геохимични радиални профили, в които, от една страна, да се отразят особеностите на почвения профил по хоризонти, а от друга – да се изчислят стойностите на коефициент  $R$  за тези хоризонти, като за основа (единица) се взети концентрациите на тежките метали в най-ниско разположения почвен хоризонт.

Лабораторните анализи на почвените образци са извършени в лабораториите на ГГФ на СУ „Св. Климент Охридски“. Събраните проби са изсушени и пресети през сита с размер 2 mm и 63  $\mu\text{m}$ . По-едрата фракция е използвана за получаване на резултати за алкално-киселинните условия на почвената среда (pH), а тази под 63  $\mu\text{m}$  – за изследване на химичния състав по отношение на някои микроелементи.

Химичният анализ е проведен чрез метода на атомно-абсорбционната спектрофотометрия със спектрофотометър апарат Perkin-Elmer 3030 след изгаряне при 400°C и пълно последователно разтваряне със смес от киселините  $\text{HClO}_4$ , HF и HCl. Установено е общото съдържание (mg/kg, ppm) на елементите: мед (Cu), цинк (Zn), олово (Pb), манган (Mn), никел (Ni), кобалт (Co) и хром (Cr).

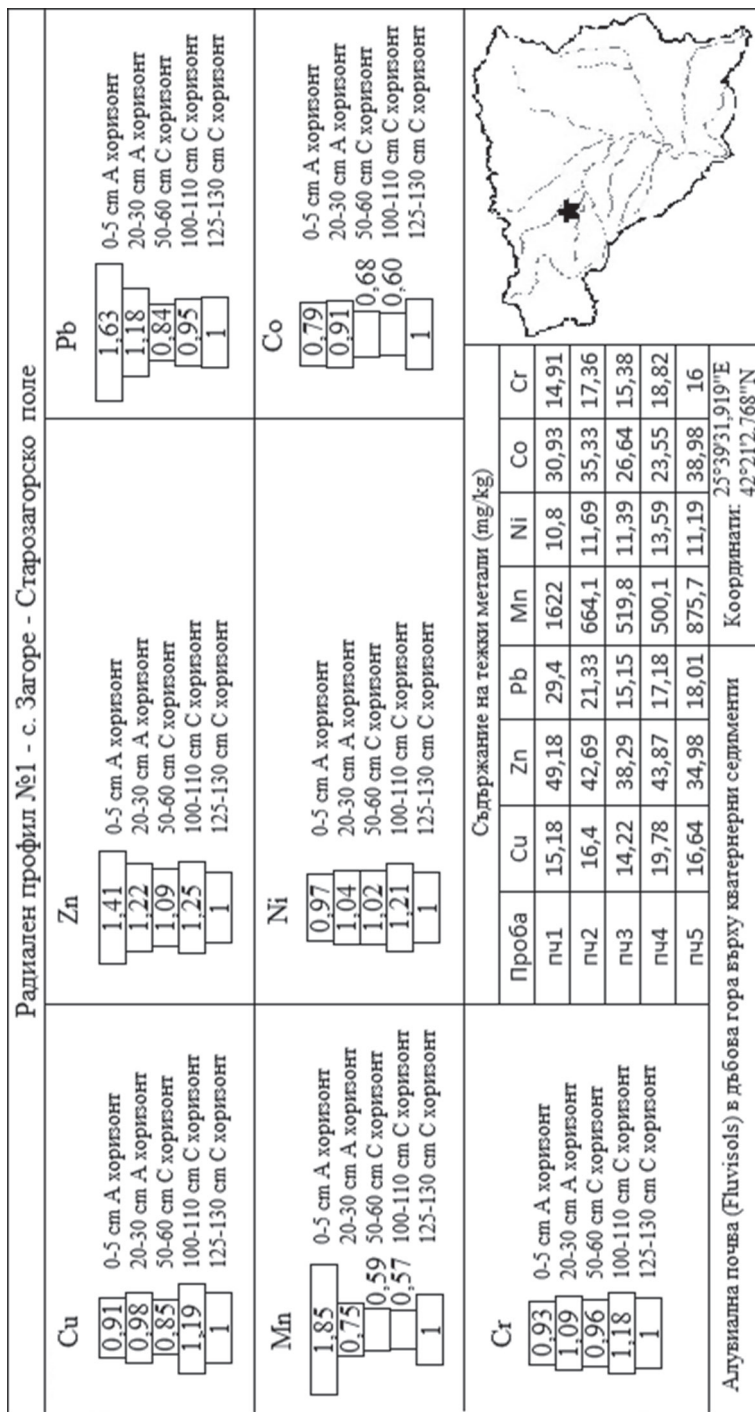
## РЕЗУЛТАТИ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Резултатите са представени в фиг. 1, 2, 3 и 4. На тях ясно личат общите съдържания на микроелементите в съответните почвени хоризонти и стойностите на  $R$ . Посочен е почвеният тип и ландшафт, както и координатите на пробосъбирането. На картосхема е посочен районът на проучване на съответния почвен профил.

На фиг. 1 е изследван почвен профил от алувиална почва с дъбова гора върху кватернерни седименти край с. Загоре в Низинния ландшафтен район на Старозагорското поле. Като цяло изследваният почвен профил се отличава с относително равномерно разпределение на микроелементите в дълбочина, с известни неголеми стойности на коефициент  $R$ .

Стойностите на коефициента показват група от елементи, които се концентрират в горния хоризонт на почвата: Mn, Pb и Zn. Манганът е микроелемент, чието радиално разпределение в почвения профил зависи от различни фактори и като цяло може да се натрупва в различни хоризонти, но обикновено този елемент се акумулира в повърхностните хоризонти на почвения слой вследствие на фиксацията му в органичните вещества (Пендиас, Кабата-Пендиас, 1989) В подобен тип почви се отбелязват близки съдържания на мангана в повърхностните хоризонти на почвите (Boratynski, Roszyk, Zieteska, 1971; Бердникова, 1978; Wells, 1960) и др.

Според някои автори наличието на повишени концентрации на олово в повърхностните хоризонти е свързано с възможностите за абсорбация от страна на мангановите оксиди (Kabaya-Pendias, 1980; McKenzie, 1980b). Това е една от възможните причини за



Фиг. 1. Радиална диференциация на елементите Cu, Zn, Pb, Mn, Ni, Co и Cr в радиален профил №1

Fig. 1. Radial differentiation of elements Cu, Zn, Pb, Mn, Ni, Co and Cr in radial profile 1

натрупването на този елемент и в изследвания профил. Също така концентрацията на този елемент в повърхностния слой на почвите се свързва и с връзката му с органичните вещества, особено при необработваеми почви (Fleming, 1968).


Леко повишените концентрации на цинка в повърхностния хоризонт на изследваната почва също може да се свържат с взаимоотношенията на този елемент с оксидите на мангана и желязото, като в такива случаи е установен повишен достъп за растенията и съответно – извличането на елемента в биомасата и впоследствие натрупването му в повърхностния хоризонт (Norish, 1975).

Друг пункт на изследване на радиалната диференциация на микроелементите в почвената покривка е профилът в един от разпространените почвени типове в Старозагорското поле – смолница, край с. Даскал Атанасово (фиг. 2). При него личи, че с относително най-висок коефициент  $R$  са Cu и Pb (1,06–1,08). Възможностите за акумулация на оловото с по-високи стойности в двата А-хоризонта на почвата се свързват с геохимичните особености на елемента, който в редица случаи се свързва с неговата абсорбция в глинестите минерали на почвата. Смолницата съдържа високи количества глинести минерали (над 60% физическа глина) и в това отношение медта може да се концентрира в хоризонтите с по-високи съдържания на глина. От друга страна, елементът олово в много случаи е достъпен за растенията, които го извличат и след това част от него остава в повърхностните хоризонти на почвата във вид на растителни остатъци, формиращи органичното вещество в този хоризонт.

Разпределението на никела в почвения профил в много случаи зависи както от неговата фиксация в органичното вещество, така и от аморфните оксиди и глинестата фракция, които, от своя страна, са специфични за типа почва (Anderson, Meyer, Mayer, 1973). Никелът в почвите се определя в редица случаи от съдържанието му в почвообразуващата скала, но концентрацията му в по-високите хоризонти зависи от почвообразуващите процеси и техногенното замърсяване (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Съдържанието на този елемент в почвообразуващите скали е близко до неговите концентрации в почвените хоризонти – средно около 30 mg/kg (Куйкин и др., 2001). Останалите изследвани микроелементи са със стойности на радиална диференциация, които свидетелстват за равномерното им разпределение в почвения профил.

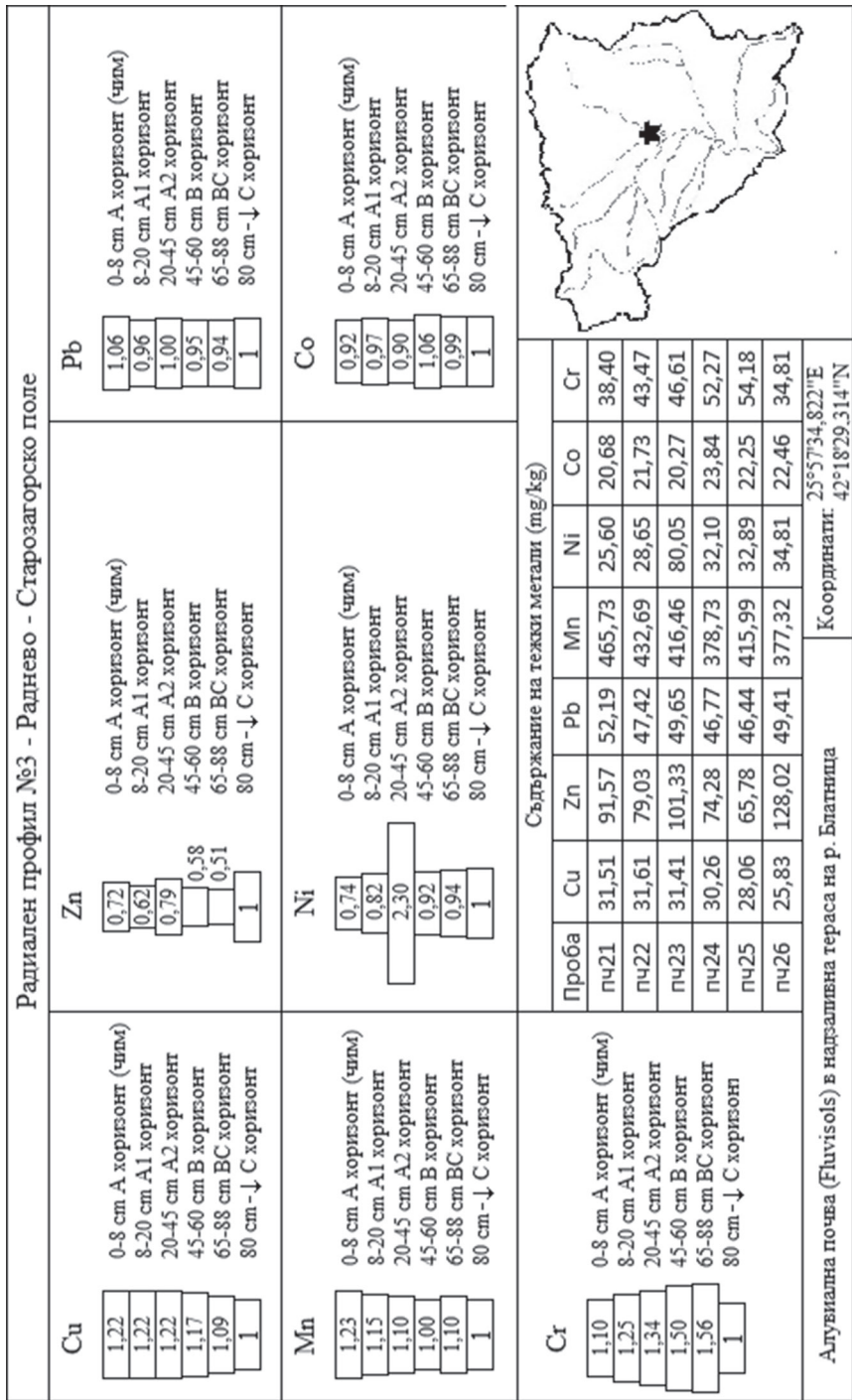
В същия ландшафтен район е изследван още един радиален профил – на разпространените алувиални почви (надзаливна тераса на р. Блатница, фиг. 3). Подобно на другия изследван профил в алувиална почва, леко повишени стойности на коефициента за радиална диференциация се отбелязват за елементите мед, олово, манган и хром. Получените стойности като цяло показват, че елементите имат относително равномерно разпределение в почвения профил, с малки изключения за никела и хрома. В сравнение с други райони на страната, общото съдържание на този елемент в алувиалния профил на изследване е 2 пъти по-ниско (в границите 34–54 mg/kg), докато в почвите на други части на страната са отбелязани стойности средно 115 mg/kg (Naydenov, Travesi, 1977). Повишеното съдържание на никел в средните хоризонти на профила по всяка вероятност се свързва с причините, отбелязани при характеристиката на разпределението на този елемент в смолниците.

Втори представителен профил на смолници за анализ бе избран в района на с. Любеново, в активно използвано пасище в близост до заблатена местност (фиг. 4).

Радиален профил №2 - с. Даскал-Атанасово - Старозагорско поле																																									
<p><b>Cu</b></p> <p>0-5 см А хоризонт (члм) 1,06</p> <p>15-30 см А хоризонт 1,34</p> <p>60-80 см В хоризонт 1,19</p> <p>120-140 ВС хоризонт 1</p>	<p><b>Zn</b></p> <p>0-5 см А хоризонт (члм) 0,56</p> <p>15-30 см А хоризонт 0,36</p> <p>60-80 см В хоризонт 0,30</p> <p>120-140 ВС хоризонт 1</p>																																								
<p><b>Mn</b></p> <p>0-5 см А хоризонт (члм) 1,26</p> <p>15-30 см А хоризонт 1,32</p> <p>60-80 см В хоризонт 1,20</p> <p>120-140 ВС хоризонт 1</p>	<p><b>Ni</b></p> <p>0-5 см А хоризонт (члм) 1,03</p> <p>15-30 см А хоризонт 1,25</p> <p>60-80 см В хоризонт 2,15</p> <p>120-140 ВС хоризонт 1</p>																																								
<p><b>Pb</b></p> <p>0-5 см А хоризонт (члм) 1,08</p> <p>15-30 см А хоризонт 1,42</p> <p>60-80 см В хоризонт 1,17</p> <p>120-140 ВС хоризонт 1</p>	<p><b>Co</b></p> <p>0-5 см А хоризонт (члм) 0,86</p> <p>15-30 см А хоризонт 0,99</p> <p>60-80 см В хоризонт 1,11</p> <p>120-140 ВС хоризонт 1</p>																																								
<p><b>Cr</b></p> <p>0-5 см А хоризонт (члм) 0,83</p> <p>15-30 см А хоризонт 1,26</p> <p>60-80 см В хоризонт 1,17</p> <p>120-140 ВС хоризонт 1</p>	<p><b>Cr</b></p> <p>0-5 см А хоризонт (члм) 46,60</p> <p>15-30 см А хоризонт 70,37</p> <p>60-80 см В хоризонт 65,70</p> <p>120-140 ВС хоризонт 55,98</p>																																								
<p>Съдържание на тежки метали (mg/kg)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Проба</th> <th>Cu</th> <th>Zn</th> <th>Pb</th> <th>Mn</th> <th>Ni</th> <th>Co</th> <th>Cr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>пч17</td> <td>35,92</td> <td>144,67</td> <td>47,58</td> <td>507,80</td> <td>35,92</td> <td>23,30</td> <td>46,60</td> </tr> <tr> <td>пч18</td> <td>45,59</td> <td>92,18</td> <td>62,44</td> <td>530,28</td> <td>43,61</td> <td>26,76</td> <td>70,37</td> </tr> <tr> <td>пч19</td> <td>40,36</td> <td>76,97</td> <td>51,62</td> <td>481,51</td> <td>75,09</td> <td>30,04</td> <td>65,70</td> </tr> <tr> <td>пч20</td> <td>33,99</td> <td>256,90</td> <td>43,98</td> <td>401,84</td> <td>34,99</td> <td>26,99</td> <td>55,98</td> </tr> </tbody> </table>		Проба	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr	пч17	35,92	144,67	47,58	507,80	35,92	23,30	46,60	пч18	45,59	92,18	62,44	530,28	43,61	26,76	70,37	пч19	40,36	76,97	51,62	481,51	75,09	30,04	65,70	пч20	33,99	256,90	43,98	401,84	34,99	26,99	55,98
Проба	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr																																		
пч17	35,92	144,67	47,58	507,80	35,92	23,30	46,60																																		
пч18	45,59	92,18	62,44	530,28	43,61	26,76	70,37																																		
пч19	40,36	76,97	51,62	481,51	75,09	30,04	65,70																																		
пч20	33,99	256,90	43,98	401,84	34,99	26,99	55,98																																		
<p>Смолница (Vertisols) при пасище върху кватернерни седименти</p> <p>Координати: 25°33'51,281"E 42°20'3,73"N</p>																																									
																																									

Фиг. 2. Радиална диференциация на елементите Cu, Zn, Pb, Mn, Ni, Co и Cr в радиален профил № 2


Fig. 2. Radial differentiation of elements Cu, Zn, Pb, Mn, Ni, Co and Cr in radial profile 2



Фиг. 3. Радиална диференциация на елементите Cu, Zn, Pb, Mn, Ni, Co и Cr в радиален профил №3

Fig. 3. Radial differentiation of elements Cu, Zn, Pb, Mn, Ni, Co and Cr in radial profile 3

Радиален профил №4 - с. Любеново - Старозагорско поле

Cu		Zn		Pb			
0-5 cm A хоризонт (члм)	1.78	0-5 cm A хоризонт (члм)	1.09	0-5 cm A хоризонт (члм)	5.47		
15-17 cm A1 хоризонт	1.96	15-17 cm A1 хоризонт	0.58	15-17 cm A1 хоризонт	4.82		
17-30 cm A2 хоризонт	1.37	17-30 cm A2 хоризонт	0.85	17-30 cm A2 хоризонт	3.15		
30-60 cm AB хоризонт	1.40	30-60 cm AB хоризонт	0.43	30-60 cm AB хоризонт	2.05		
60-90 cm B хоризонт	1.06	60-90 cm B хоризонт	0.38	60-90 cm B хоризонт	1.15		
90-110 cm BC хоризонт	1.11	90-110 cm BC хоризонт	0.99	90-110 cm BC хоризонт	1.23		
110-150 cm C1 хоризонт	1.01	110-150 cm C1 хоризонт	1.05	110-150 cm C1 хоризонт	0.90		
150-250 cm C2 хоризонт	1	150-250 cm C2 хоризонт	1	150-250 cm C2 хоризонт	1		
Mn		Ni		Co			
0-5 cm A хоризонт (члм)	1.21	0-5 cm A хоризонт (члм)	2.95	0-5 cm A хоризонт (члм)	2.70		
15-17 cm A1 хоризонт	1.20	15-17 cm A1 хоризонт	3.15	15-17 cm A1 хоризонт	2.94		
17-30 cm A2 хоризонт	1.23	17-30 cm A2 хоризонт	2.68	17-30 cm A2 хоризонт	2.63		
30-60 cm AB хоризонт	1.09	30-60 cm AB хоризонт	4.44	30-60 cm AB хоризонт	1.18		
60-90 cm B хоризонт	1.09	60-90 cm B хоризонт	2.83	60-90 cm B хоризонт	1.15		
90-110 cm BC хоризонт	0.97	90-110 cm BC хоризонт	1.21	90-110 cm BC хоризонт	1.14		
110-150 cm C1 хоризонт	0.98	110-150 cm C1 хоризонт	1.14	110-150 cm C1 хоризонт	0.86		
150-250 cm C2 хоризонт	1	150-250 cm C2 хоризонт	1	150-250 cm C2 хоризонт	1		
Съдържание на тежки метали (mg/kg)							
Проба	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
пч27	42,05	195,91	77,41	482,60	30,58	22,94	41,09
пч28	46,14	103,81	68,25	478,70	32,68	24,99	43,26
пч29	32,33	152,71	44,59	493,80	27,87	22,29	43,47
пч30	33,07	77,15	29,06	434,87	46,09	10,02	32,06
пч31	24,99	68,46	16,30	435,77	29,34	9,78	32,60
пч32	26,15	178,17	17,43	389,27	12,59	9,68	30,02
пч33	23,72	187,90	12,77	391,31	11,86	7,30	23,72
пч34	23,58	179,24	14,15	399,99	10,38	8,49	24,53
Смолница (Vertisols) в пасище при надземна тераса на р. Сазлика						Координати: 23°55'52,497"E 42°11'41,759"N	
Cr							
0-5 cm A хоризонт (члм)	1.68						
15-17 cm A1 хоризонт	1.76						
17-30 cm A2 хоризонт	1.77						
30-60 cm AB хоризонт	1.31						
60-90 cm B хоризонт	1.33						
90-110 cm BC хоризонт	1.22						
110-150 cm C1 хоризонт	0.97						
150-250 cm C2 хоризонт	1						

Фиг. 4. Радиална диференциация на елементите Cu, Zn, Pb, Mn, Ni, Co и Cr в радиален профил №4

Fig. 4. Radial differentiation of elements Cu, Zn, Pb, Mn, Ni, Co and Cr in radial profile 4



Изследваният профил е с дълбочина над 2,5 m, което позволява добро разграничение на почвените хоризонти и пробонабиране от всеки един от тях. За целта са събрани и анализирани 8 почвени проби. В този почвен профил се наблюдава специфична ситуация на радиалното разпределение на микроелементите в смолниците. С най-високи стойности на коефициент  $R$  са елементите Pb, Ni, Co, следвани от Cu, Cr и Mn.

В радиален профил № 4 с най-високи стойности на коефициент  $R$  е Pb, особено в повърхностния А-хоризонт – чим ( $R=5,47$ ). Естествените съдържания на този елемент в почвите обикновено се онаследяват от почвообразуващата скала, но в редица случаи, поради нарасналите замърсявания с Pb през последните десетилетия, той постъпва по различен техногенен път в почвената покривка и влияе върху нейните геохимични особености. В различни публикации се цитират данни за съдържания на олово в повърхностните хоризонти от 3 до 189 mg/kg (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Според Davies (1977) пределните съдържания на Pb в нормално развити почви е около 70 mg/kg. В проучения профил тези стойности варират от 14,2 mg/kg в най-дълбокия проучен хоризонт, до 77,4 mg/kg в най-високо разположения. Като цяло се наблюдава увеличаване на общото съдържание в повърхностните хоризонти на дълбочина до около 60 cm. Ясно изразена е тенденцията на концентрация на оловото именно в тези хоризонти.

Счита се, че Pb не е сред най-подвижните тежки метали и концентрациите му в природните води не е особено голяма. Независимо от тези констатации в редица публикации се срещат и данни за концентриране на елемента и привързаността му към глинестите фракции, оксидите на мангана, хидрооксидите на желязото и алуминия, както и органичното вещество. При повишени стойности на рН оловото намалява миграцията си и се утаява във вид на хидроксид, фосфат, карбонат. От своя страна, тези условия спомагат за образуването на Pb – органични комплекси. В някои случаи оловото може да се концентрира в калциеви или фосфатни конкреции (Norrish, 1975; Rifaldi, 1976; Tidball, 1976; Schnitzer, 1981). В глинестите хоризонти илитите проявяват най-голяма активност за сорбиране на оловото, а някои автори утвърждават, че оксидите на мангана в голяма степен сорбират оловото (Hildebrand, Blume, 1974; Kabata-Pendias, 1980; Farrah, Pickering, 1978; McKenzie, 1980a).

В проучения профил е възможно и техногеохимичен привнос на този елемент от различни стопански дейности за относително дълъг период на въздействие. Обзорни изследвания за замърсяването на почвите и въздействието на оловото върху различни наземни екосистеми са приведени от автори от различни страни (Hildebrand, 1974; Olson, Skogerboe, 1975; Harmsen, 1977; Zimdahl, Hasset, 1977). Например постъпването на олово може да бъде при различни производства във вид на минерални форми (PbS, PbO, PbSO<sub>4</sub> и др.), както и във вид на халогенни соли от изхвърлените газове на двигателите с вътрешно горене (PbBr<sub>2</sub>, PbBrCl, Pb(OH)<sub>2</sub>, PbBr<sup>2</sup>). Съдържащите се в изгорелите газове частици олово са неустойчиви и бързо се превръщат в оксиди, карбонати и сулфати. За поведението на попадналия в почвите микроелемент олово има различни мнения (Tyler, 1981; Kitagishi, Yamane, 1981; Stevenson, Welch, 1979). Като цяло наблюденията показват, че в баланса на оловото в различни ландшафти се наблюдава увеличаване на привноса на елемента, в сравнение с неговото изнасяне. Това води до повишаване на концентрациите именно в повърхностните хоризонти на

почвата, ситуация, наблюдавана явно и в изследвания от нас профил на смолница. Според някои автори (Ниязова, Летунова, 1981) почвената микрофлора е способна да натрупва олово с висока скорост, пропорционална на съдържанието на този елемент в почвата. Повишени концентрации на олово в повърхностните хоризонти на почвите са отбелязани в редица публикации и у нас (Пенин, 1989, 1997 и др.).

В горните хоризонти на почвите никелът присъства преди всичко в органично свързаните форми, част от които са представени от лекоразтворими хелати (Bloomfield, 1981). Освен това се предполага, че достъпните форми на никела за растенията са свързани преди всичко с оксидите на мангана и желязото (Norrish, 1975). Диференциацията на никела в почвения профил зависи както от аморфните оксиди на глинестата фракция, която тук присъства осезаемо, така и с връзката му с органичното вещество. Разтворимостта на никела в почвените разтвори зависи до голяма степен от стойността на рН и в неутрални и кисели почви, той е по-подвижен. В изследвания профил рН е около 7,3, по-близо до неутрални условия. В значителна степен присъствието на никела в почвите зависи от неговите концентрации в почвообразуващите скали. Според Куйкин (2001) средните съдържания на този елемент в почвообразуващите скали на страната достига около 30 mg/kg – стойности, съпоставими с част от концентрациите на елемента в този почвен профил. От друга страна, най-ниско разположеният хоризонт съдържа най-ниски количества никел (около 10 mg/kg). Това води до извода, че повишената концентрация на елемента в по-горните хоризонти се дължи в по-висока степен на връзката му с глинестите минерали, оксидите на мангана и желязото и органичното вещество, както и на евентуално техногеохимично въздействие. Този елемент постъпва в най-значителни количества по хидротехногенен и атмотехногенен път при замърсявания от металообработващи предприятия и при изгаряне на въглища и нефт в големи количества. Във водите, с които често се напояват земеделски земи, никелът присъства преди всичко във форми на лекодостъпни органични хелати, т.е. възможно е да бъде фитотоксичен. Същевременно обработката на почви с фосфатни или органични торове способства за намаляването на достъпността на никела за растенията (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

В разпределението на никела и кобалта в земната кора и в почвената покривка на планетата се наблюдава определено сходство (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989 и др.). Общото съдържание на елемента в изследвания профил варира от около 7–8 mg/kg в най-ниско разположените хоризонти, до 22–24 mg/kg в горните хоризонти. В проучения профил разпределението на кобалта има сходна картина, като това на никела.

В горните хоризонти на почвата коефициентът  $R$  достига стойности 2,63–2,94. Обикновено в геохимичните цикли и преразпределението на елемента в почвените профили е свързано с Fe и Mn, като оксидните форми на втория елемент има преимуществено значение (McKenzie, 1975). Важен фактор за преразпределението и поведението на кобалта в почвите е органичното вещество и присъствието на глинести почвени хоризонти. С особено значение за подвижността на елемента са монтморилонитовите и илитовите глини поради високата им сорбционна способност. Наличието на глинести хоризонти в изследвания профил на смолниците явно оказва пряко влияние върху концентрациите на елемента именно в тях, което е и причина за относително високите стойности на коефициент  $R$ .

В природни условия този елемент се среща преимуществено като  $\text{Co}^{2+}$  и  $\text{Co}^{3+}$ , като е възможно и образуването и присъствието в много типове почви на комплексния анион  $\text{Co}(\text{OH})_3^-$ . При изветряне в окислителна среда кобалтът е относително силно подвижен, но при активна сорбция от страна на оксидите на желязото и мангана, а също и на глинестите минерали, става трудноподвижен, мигрира слабо в разтворени форми. Според други публикации, например Линник и Набиванец (1986), кобалтът може да мигрира активно в почвени води в разтворена фаза. Това показва, че е възможно причина за вътрешнопочвеното разпределение на елемента да са почвените води и тяхната вертикална миграция в дълбокия профил на смолниците.

Останалите микроелементи имат също ясно изразено повишение на концентрациите в повърхностните хоризонти, но с относително по-ниски стойности на коефициент  $R$ . Цинкът е с най-ниска стойност на коефициента ( $R = 1,09$ ).

В Старозагорското поле е направен радиален геохимичен профил на засолени почви (солонец), който е анализиран като част от тематично изследване (Пенин, Желев, 2015).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледаните радиални профили дават представа за преразпределението на проучените микроелементи в почвения профил. Трябва да се отбележи, че всеки от тях има специфична геохимична картина и поведение в зависимост от почвообразователните процеси и почвообразуващата скална основа. На места в една или друга степен се наблюдава наличие на почвено-геохимични бариери от различен характер, на които се концентрират едни или други асоциации от микроелементи. За по-дълбокото разкриване на геохимията на радиалното разпределение на тежките метали определено са необходими задълбочени изследвания, свързани с други важни участници в почвообразователните процеси, а именно макроелементите – други редки и разсеяни елементи, водният режим и промените на рН през сезоните, както и други параметри и процеси, водещи до радиална (вертикална) диференциация на тези важни в екологично отношение елементи в почвите на Старозагорското поле.

## ЛИТЕРАТУРА

- Авессаломова, И. А. 1987. Геохимические показатели при изучение ландшафтов. М., Изд. МГУ.
- Бердникова, А. В. 1978. Содержания марганца в почвах Астраханской области. – *Агрохимия*, № 2, 128.
- Кабата-Пендиас, А., Х. Пендиас. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. М., Изд. Мир.
- Куйкин, С., И. Атанасов, Ю. Христова, Д. Христов. 2001. Фонови съдържания на тежки метали и арсен в почвообразуващите скали в България. – *Почвознание, агрохимия и екология*, год. XXXVI, № 1.
- Линник, П. Н., Б. И. Набиванец. 1986. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л., Гидрометеоиздат.
- Ниязова, Г. А., С. В. Летунова. 1981. Накопление микроэлементов почвенной микрофлорой в условиях Сумсарской свинцово-цинковой биогеохимической провинции Киргизии. – *Экология*, № 5, 89.
- Пенин, Р. 1997. Ръководство по геохимия на ландшафтите. С., УИ „Св. Климент Охридски“.
- Пенин, Р., Д. Желев. 2015. Геохимични проучвания на азанолни ландшафти в Старозагорското поле, възникнали вследствие на антропогенна дейност в античността. – *Проблеми на географията*, бр. 1–2.
- Пенин, Р. 1989. Ландшафтно-геохимическая оценка заповедных территории Юго-Западной Болгарии. М., Канд. дис. Московски университет „М. В. Ломоносов“.

- Andersson, A. J., D. R. Meyer, F. K. Mayer. 1976. Heavy metal toxicities: levels of nickel, cobalt and chromium in the soil and plants associated with visual symptoms and variation in growth of an oat crop. – *Aus. J. Agric. Res.* 24, 557.
- Bloomfield, C. 1981. The translocation of metals in soils. – In: *The chemistry of soil process*. N. Y., John Wiley & Sons, 463.
- Boratynski, K., E. Roszyk, M. Zietecka. 1971. Review on research on microelements in Poland (B, Cu and Mn). *Rosz, Glebozn.*, 22, 205.
- Davies, B. E. 1977. Heavy metal pollutions of British agricultural soils with special reference to the role of lead and copper mining. – In: *Proc. Int. Semin. On Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture*, Tokyo, 394.
- Farrah, H., W. F. Pickering. 1978. The sorption of mercury species by clay minerals. – *Water Air Soil Pollut.*, 9, 23.
- Fleming, G. A., T. Walsch, P. Ryan. 1968. Some factors influencing the content and profile distribution of trace elements in Irish soils. – In: *Proc. 9<sup>th</sup> Int. Congr. Soil Sci.* Vol. 2, Adelaide, Aus.
- Harmsen, K. 1977. Behaviour of heavy metals in soils. Doctoral thesis, Centre for Agric., Publications and Documentations, Wageningen, 170.
- Hildebrand, E. E., W. Blume. 1974. Lead fixation by clay minerals. – *Naturwissenschaften*, 61, 169.
- Kabata-Pendias, A. 1980. Heavy metal sorption by clay minerals and oxides of iron and manganese. – *Mineral. Pol.*
- Kitagishi, K., I. Yamane. 1981. Heavy Metals Pollution in Soils of Japan. Japan Science Society Press, Tokyo.
- McKenzie, R. M. 1975. The mineralogy and chemistry of soil cobalt. – In: *Trace elements in soil-plant-animals systems*. Nicholas D. J. D., Egan A. R., Eds. Academic Press NY, 83.
- McKenzie, R. M. 1980 a. The adsorption of lead and other heavy metals on oxides of manganese and iron. – *Aust. J. Soil Res.*, 18, 61.
- McKenzie, R. M. 1980 b. The manganese oxides in soils. – In: *Geology and geochemistry of manganese*. Varentsov, I. M., G. Graseelly, Eds., Akademiai Kiado, Budapest, 259.
- Naydenov, M., A. Travesi. 1977. Nondestructive neutron activation analysis of Bulgarian soils. – *Soil Sci.*, 124, 152.
- Norrish, K. 1975. The geochemistry and mineralogy of trace elements. – In: *Trace elements in soil-plant-animal syst.* N. Y.
- Olson, K. W., R. K. Skogerboe. 1975. Identification of soil lead compounds from automotive sources. – *Environ. Sci. Technol.*, 9, 277.
- Riffaldi, R., R. Levi-Minzi, G. E. Soldatini. 1976. Pb absorption in soils. – *Water Air Soil Pollut.*, 6, 119.
- Schnitzer, E., H. Kerndorf. 1981. Reactions of fulvic acid with metal ions. – *Water Air Soil Pollut.*, 15, 97.
- Stevenson, F. J., L. F. Welch. 1979. Migration of applied lead in a field soils. – *Environ. Sci. Technol.*, 13, 1255.
- Tidball, R. R. 1976. Lead in soils. – In: *Lead in the environment*. Lovering T. G., Ed. U.S. – *Geol. Surv. Prof.*, Pap, 957.
- Tyler, G. 1981. Leaching of metals from the A-horizon of a spruce forest soil. – *Water Air Soil Pollut.*, 15, 353.
- Wels, N. 1960. Total elements in top soils from igneous rocks: an extension of geochemistry. – *J. Soil. Sci.*, 11, 409.
- Zimdahl, R. L., J. J. Hasset. 1977. Lead in soil. – In: *Lead in the environment bogges*. Report NSF, National Science Foundation, Washington, D. C., 93.

Постъпила май 2016 г.