



## Сравнителен анализ на съдържанието на тежки метали в почвите на карстови ландшафти

### Comparative analysis of the content of heavy metals in the soils of karst landscapes

Зорница Чолакова

СУ „Св. Климент Охридски, Геолого-географски факултет, катедра „Ландшафтна екология и опазване на природната среда“, 1504 София, бул. „Цар Освободител“ 15

Zornitza Cholakova

Sofia University "St. Kliment Ohridski", Faculty of Geology and Geography, Department of Landscape ecology and environmental protection, 1504 Sofia, 15 Tsar Osvoboditel bul.

#### ABSTRACT

#### Key words:

karst landscape, heavy metals, soils, rendzina soils, gray forest soils

The essence of karst landscapes is considered. The content of Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Co, Mn, Cd trace elements in the soils of karst landscapes in the Ponor, Vrachanska and Vlahina Mountains, as well as those in The Western and Middle Fore-Balkan (Arbanassi Plateau), Bulgaria, is analyzed using landscape-geochemical, laboratory, mathematical and statistical methods. The obtained results are compared with the average content in the carbonate rocks of Bulgaria (Kuikin et al., 2001), the rendzina (Rendzic Leptosols, LPl, FAO) and the gray forest soils (Haplic Luvisols, LVh, FAO) in the country (according to Atanassov et al., 2002). The importance of the carbonate rock substrate on the concentration of the chemical elements - heavy metals in the studied zonal and azonal soil types was determined.

## Карстови ландшафти

Карстовият ландшафт е азонален тип ландшафт. Той е създаден от феномена на химичното разтваряне на скалите от водата. Този процес може да протече на различна географска ширина, на различна надморска височина, на различна дълбочина. Това са едни от най-разпространените азонални ландшафти на Земята. Тяхното многообразие се определя от особеностите на други компоненти на ландшафтната сфера – литоложките особености, химичният състав и режим на повърхностните и подземните води, съотношението между топлината и овлажняването в отделните природни пояси и зони и техните режимни особености, биохимичните процеси в различните почвени типове, регулиращата хидроложка роля на растителността, важната биохимична роля на безгръбначните животни, антропогенната дейност.

Каква е същността на карстовия ландшафт, каква е неговата структура, какво е неговото функциониране и развитеите са част от основните въпроси, които редица учени-карстолози са изследвали. Един от първите е Н. Гвоздецкий (1988), който откроява геоморфоложките особености на този ландшафт и влиянието на останалите природни и антропогенни фактори. В. Андрейчук (2007) определя карстовия ландшафт като „територия със свой набор от физико-географски процеси, отразяващи природната специфика“.

Според него той е много специфичен и различен от некарстовите със своята „по-сложна организация, по-висока степен на диференцираност, дискретност, ... своеобразен режим на функциониране и динамика.“ Той има своя подземна и надземна вертикална структура, които са много тясно свързани по-между си. За разлика от некарстовия ландшафт, карстовият има мощна подземна структура, която включва кухини и пещери. Те са относително самостоятелни природни обекти, наричани също и подземни ландшафти (Гвоздецкий, 1954, в: Андрейчук, 2007). Надземната и подземната част на карстовия ландшафт представляват две структурни подсистеми.

Велчев (2014) допълва понятието за карстов ландшафт, тълкувайки го като природна и природно-антропогенна система, която няма принципна разлика от останалите ландшафти, но притежава някои специфични черти, свързани с лесно разтворимите скали, които го отделят „в особена самостоятелна ландшафтна единица“. Според същия автор карстовият ландшафт има по-различна структура и функционални особености, специфичен облик и природен потенциал.

Карстовите ландшафти в България имат разнообразие по отношение на своя подтип – покрити, зачимени, полуили частично зачимени, открити, погребани и др. Тази класификация е се базира на типовете карст и е основана на мор-

фолого-генетичния принцип, следван от Гвоздецкий (1988), Велчев (2016) и др. изследователи, използван при обучението и съставянето на карти на карстовите ландшафти в университетската дисциплина „Карстови ландшафти в България“. Тъй като настоящото изследване е свързано с почвената компонента в тези ландшафти, обект на изследване са само покрити и зачимени карстови ландшафти, при които има развита почвена покривка с различна мощност.

## Обект и методика на изследването

Анализирано е съдържанието на тежки метали в почвите на различни карстови ландшафти в планините Врачанска, Понор, Влахина, както и в Западния и Средния Предбалкан (Арбанашкото плато - част от Търновските височини).

Те представят предимно покрити и зачимени карстови ландшафти, развити върху изветрителните продукти на карбонатни комплекси от варовици, доломити, пясъчливи варовици, мергели и др. седименти. Формираните почвени типове са както зонални, така и азонални. Във зависимост от местоположението и надморската височина, почвите са кафяви или сиви горски, като в много от картираните ландшафти са разпространени типичните азонални почви – рендзините.

Картирането и пробовземането са осъществени в различни години, във връзка с участието на автора в изследвания по научни проекти (Тодоров и др., 2013, 2014), разработването на дипломни работи (Пенин, Чолакова, 1997; Чолакова, Аветисян, 2014) и дисертация (Чолакова, 2016). Пробовземането е извършено по отделните генетични почвени хоризонти, определен е техният механичен състав, алкално-киселинни условия, направени са стандартни описания за картировка на почвените профили. Пробите за съдържание на тежки метали (Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Co, Mn, Cd) са въздушно изсушени. От тях е отделена фракция с размери 63 µm, в която е изследвано съдържанието на тежките метали по метода на атомно-абсорбционната спектроскопия след последователно киселинно разтваряне в Лабораторията по геохимичен анализ на Геолого-географския факултет на Софийския университет.

Анализирани са 22 почвени проби (табл. 1), от които 9 бр. са в рендзини (от Врачанска планина, Понор, Влахина планина, Западен Предбалкан и Арбанашко плато), 9 бр. проби са в сиви горски почви (Врачанска планина и Арбанашко плато) и 4 бр. проби са в кафяви горски почви (Понор и Влахина планина).

**Таблица 1.** Местоположение, механичен състав, pH и съдържание на тежки метали (mg/kg) в почвите на карстови ландшафти.

**Table 1.** Location, mechanical composition, pH and heavy metal content (mg/kg) in soils of karst landscapes.

№	Вид на пробата	Местоположение, почвен хоризонт	Механичен състав	Ph	Химични елементи							
					Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mn	Cd
1	Кафява горска почва	Понор планина, билна заравненост, на юг от р. Пребойница, в района на вр. Мечи баба, Ао чим = 0-9 cm	пясъчлив	6.21	56	196	45	54	34	15	797	<1
2	Кафява горска почва	Понор планина, билна заравненост, на юг от р. Пребойница, в района на вр. Мечи баба, А1В = 10-35 cm	пясъчлив	6,07	45	171	38	58	34	17	706	<1
3	Рендзина	Врачанска планина, стръмен склон над пътя с. Лакатник-с. Миланово, АС = 0-20 cm	пясъчлив	7,98	39	188	126	24	25	10	822	1,3
4	Рендзина	Понор планина, билна повърхнина над левия долинен склон на р. Брезенска, АС = 0-17 cm	пясъчливо-глинест	5,5	12	70	42	10	10	<5	353	<2

Изчислените са стандартните статистически показатели за редиците от данни за всеки химичен елемент. Получените резултати от лабораторните анализи са сравнени със средните съдържания в карбонатните скали на България (Куйкин и др., 2001), рендзините и сивите горски почви в страната (Atanassov et al., 2002 (табл. 3)). Използван е коефициентът на концентрация Кс, който представлява отношението на съдържанието на изследвания елемент в почвите на карстовите ландшафти към средното му съдържание в карбонатните скали и/или в различните почвени типове.

## Резултати и анализ

Почвите имат много важна геохимична роля в ландшафта. Те отразяват особеностите на химичния състав на изветрителната кора, растителната покривка, хидрохимичния режим на повърхностните и почвените води, както процесите на въздушна, водна, биогенна и техногенна миграция и диференциация на химичните елементи. В тези геохимични процеси при карстовите ландшафти изпъква водещата роля на разтварянето на минерали на различни соли, съдържащи се в скалните комплекси (карбонати, сулфати, хлориди), миграцията на йоните и вторичното утаяване на химичните съединения.

Инфилтриращите повърхностни води попадат под въздействието на органичните киселини в почвата. Протичащите в почвите биохимични процеси генерират възглена киселина. Киселинността на почвените разтвори, която засилва агресивността на инфилтрационните води, се определя от наличието на различни органични и минералните киселини. Хумусните и органоминералните вещества, които участват в обменните реакции, образуват с йоните на калция неразтворими соли – хумати, което също увеличава агресивността на почвените разтвори (Гвоздецкий, 1988).

Изследваните покрити карстови ландшафти са с формиранни сиви (обикновени лесивирани почви, *Harlic Luvisols*, LVh, FAO, 1988) или кафяви (камбисоли, *Cambisols*, CM, FAO, 1988, 1990) горски почви. Тяхното местоположение е свързано с планините Врачанска (сиви горски), Понор и Влахина (кафяви горски), както и с източната част на Търновските височини – Арбанашкото плато (сиви горски). Рендзините (*Rendzic Leptosols*, LPk, FAO, 1988) по-често са разпространени при зачимените карстови ландшафти във всички изследвани райони (табл. 1).

Продължение на Таблица 1. / Table 1.

5	Рендзина	Понор планина, ляв долинен склон на р. Брезенска, АС = 0-19 cm	песъчливо-глинест	7,3	10	63	37	15	30	<5	467	<2
6	Сива горска почва	Врачанска планина, с.Очин дол - стръмен склон, 450 m н.в., Ачим = 0-5 cm	песъчлив	3,8	82	185	265	22	19	5	471	1
7	Сива горска почва	Врачанска планина, с.Очин дол - стръмен склон, 450 m н.в., В = 6-20 cm	песъчлив	4,1	36	101	55	37	20	10	574	0,1
8	Сива горска почва	Врачанска планина, с.Очин дол - стръмен склон, 450 m н.в., С = 20 cm	песъчлив	4,3	33	89	40	36	23	13	617	0,1
9	Рендзина	В подножието на Градицето, Дружево, Козница, А чим = 0-5 cm	средно песъчливо-глинест	6,96	18	47	32	83	33	17	472	2
10	Рендзина	В подножието на Градицето, Дружево, Козница, АС = 5-23 cm	средно песъчливо-глинест	6,69	20	62	30	88	40	10	440	<2
11	Кафява горска почва	Руенска пл. (Бобошевски Руен), Влахина планина; 875 m н. в.; АВ = 0-9 cm	песъчлив	7,27	14,5	698,8	56,8	38,2	47,5	39,2	826,8	4,1
12	Кафява горска почва	Руенска пл. (Бобошевски Руен), Влахина пл.; 875 m н. в.; АВ = 9-28 cm	песъчлив	7,51	9,4	191,7	29,3	23,6	66,1	33,1	614,9	3,8
13	Рендзина	билото на Руенска пл. (Бобошевски Руен), Влахина пл. 995 m н.в; АС = 0-10 cm	песъчлив	7,49	15,7	224,8	59,9	61,9	91,3	47,1	867,9	3,9
14	Рендзина	Моноклинално възв. (глама), северозападно от с. Търговище, Западен Предбалкан; 415 m н.в АС = 0-15 cm	средно песъчливо-глинест	7,2	43,3	185,0	92,5	59,1	206,7	53,1	5423,2	2,0
15	Кафява горска почва	Арбанашко плато, склон под манастира "Св. св. Петър и Павел"; А усл. = 0-10 cm	-	-	87,0	34,0	19,0	83,0	39,0	11,0	640,0	1,3
16	Кафява горска почва	Арбанашко плато, склон под манастира "Св. св. Петър и Павел"; А усл. = 0-10 cm	-	-	41,0	92,0	23,0	60,0	34,0	8,0	520,0	1,3
17	Кафява горска почва	Арбанашко плато, денудационна заравненост над манастира "Св. св. Петър и Павел", А1 = 0-7 cm	-	-	53,0	74,0	12,0	52,0	24,0	10,0	490,0	1,7
18	Кафява горска почва	Арбанашко плато, денудационна заравненост над манастира "Св. св. Петър и Павел", В = 15-30 cm	-	-	19,0	75,0	12,0	73,0	46,0	12,0	820,0	1,7
19	Кафява горска почва	Арбанашко плато, денудационна заравненост над манастира "Св. св. Петър и Павел", В = 30-35 cm	-	-	18,0	75,0	12,0	75,0	40,0	18,0	760,0	2,2
20	Кафява горска почва	Арбанашко плато, поляна пред манастира "Св. св. Петър и Павел", А усл. = 0-10 cm	-	-	32,0	160,0	35,0	82,0	44,0	12,0	870,0	3,2
21	Рендзина	Арбанашко плато, вдясно от пътя Арбанаси - Велико Търново; А усл. = 0-10 cm	-	-	119,0	125,0	51,0	67,0	36,0	9,0	800,0	1,0
22	Рендзина	Арбанашко плато, вляво от пътя Арбанаси - Велико Търново; А усл. = 0-10 cm	-	-	24,0	84,0	33,0	64,0	38,0	9,0	580,0	1,6

С изключение на почвените профили в Арбанашкото плато, всички останали са с определени механичен състав и алкално-киселинни условия. Механичният състав се променя от песъчлив до средно песъчливо-глинест. Доминиращите алкално-киселинни условия са неутрални с изключение на профил на сиви горски почви от района на с. Очин дол във Врачанска планина, където доминират средно кисели условия в почвения разтвор (табл. 1, проби № 6, 7 и 8).

Стойностите на отделите елементи варират в широки граници, като при Mn (119,9 %) и Pb (104,4 %) коефициентът на вариация показва голяма разнородност на съдържанията поради различни лито- и педогеохимични условия, както и различия в миграционния път на елементите (табл. 2). Литогеохимичните условия имат важна роля при формирането на почвообразователния субстрат. По-слаби са вариациите в съдържанието на Cr (45 %). Съдържанията на останалите елементи също се отличават с големи различия.

Всички изследвани елементи (без Cd) се концентрират в почвите на изследваните карстови ландшафти спрямо карбонатните скали в България и образуват следния геохимичен ред: Cr (Kc = 5,8) > Mn (2,7) > Zn (2,4) > Co (2,4) > Cu (1,8) > Pb (1,5) > Ni (1,2).

Спрямо почвите от фоновите райони на страната в

почвите на карстовите ландшафти се концентрират Cd (56,6), Pb (1,5), Zn (1,44), Cu (1,35), Ni (1,09). Останалите три елемента се разсейват.

Спрямо почвите от техногенните райони на страната има три елемента, чиито средни съдържания в почвите на карстовите ландшафти са между 1,5 и 1,04 пъти по-високи - Cd, Pb и Zn (фиг. 1).

Като най-типични почви за карстовите ландшафти е направено сравнение на средното съдържание на микроелементите в хумусно-карбонатните почви (рендзини) от карстовите ландшафти и това в същия почвен тип в България, както и в карбонатните скали (фиг. 2). От сравнението е изключен Cd, тъй като за него няма данни в съпоставяните карбонатни скали и рендзини от България (табл. 2).

Шест от елементите се концентрират в рендзините в сравнение с карбонатните скали в страната, като Kc се изменя от 2,5 за Mn до 1,03 за Ni. Образоването на тези почви е свързано силно с карстовия процес в карбонати и при наличие на по-висок литохимичен фон в тях е напълно закономерно елементите да се натрупват в почвения профил.

**Таблица 2.** Статистически показатели на съдържанието на тежки метали (mg/kg) в почвите на изследваните карстови ландшафти.

**Table 2.** Statistical indicators of heavy metal content (mg/kg) in the soils of the studied karst landscapes.

	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mn	Cd
Максимална стойност	119	698,8	265,0	88,0	206,7	53,1	5423,2	4,1
Минимална стойност	9,4	34,0	12,0	10,0	10,0	5,0	353,0	0,1
Средно аритметична стойност	37,6	145,1	52,1	53,0	44,6	17,9	860,5	1,9
Медиана	32,5	96,5	37,5	58,5	35	12	628,5	1,7
Мода	18	75	12	83	34	10	-	1,3
Средно квадратично отклонение	28,1	136,6	54,4	23,9	40,0	13,8	1031,4	1,2
Коефициент на вариация, %	74,8	94,2	104,4	45,1	89,7	76,8	119,9	65,5

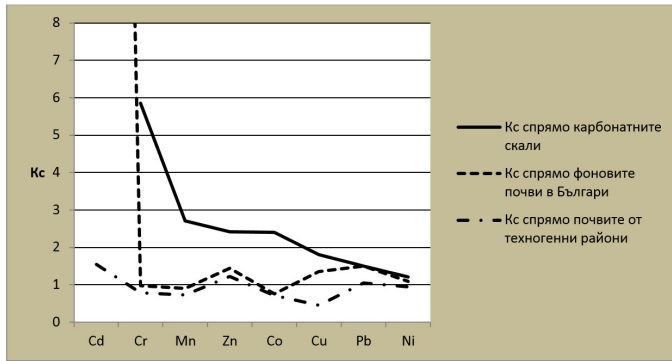
**Таблица 3.** Средно съдържание на тежки метали (mg/kg) в карбонатните скали, сивите горски почви, рендзините, почвите от фонове и техногенни територии на България.

**Table 3.** Average content of heavy metals (mg/kg) in carbonate rocks, Rendzic Leptosols, Haplic Luvisols, soils from background and technogenic regions in Bulgaria.

	Химични елементи							
	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mn	Cd
Карбонатни скали в България, (Куйкин и др., 2001)	18	40	25	10	29	5	232	xxx
Рендзини (Rendzic Leptosols, LPk, FAO, 1988) в България (Atanassov et al, 2002)	31,57	78,67	22,39	47	38,55	12,29	697,75	xxx
Сиви горски почви (Haplic Luvisols, LVh, FAO, 1988) в България (Atanassov et al, 2002)	21,56	66,8	20,09	39,63	34,4	14,5	660,87	0,25
Почви от фонове райони в България (Пенин 2003)	24	67	25	60	32	16	695	0,03
Почви от техногенни райони в България (Пенин, 2003)	72	79	36	74	37	17	867	1,1

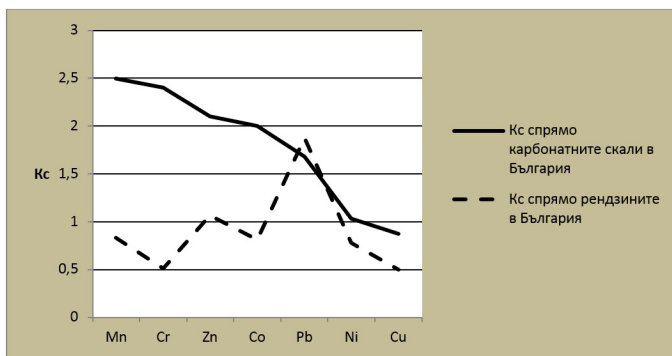
Заб.: xxx – няма данни





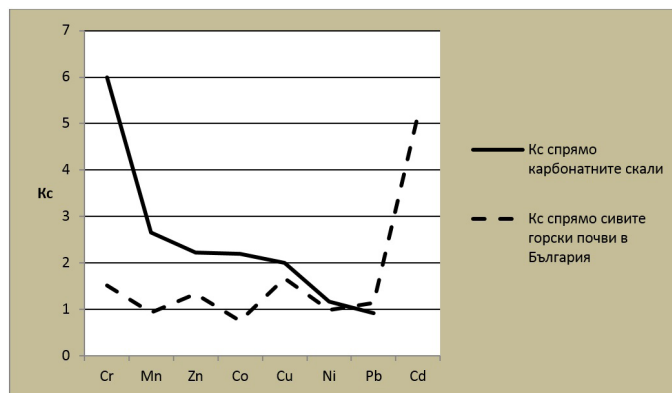
**Фигура 1.** Геохимичен спектър на средното съдържание на тежки метали в почвите от карстови ландшафти спрямо това в карбонатните скали (Куїкин и др., 2001), в почвите от фонові и техногенні території в България (Пенін, 2003).

**Figure 1.** Geochemical spectrum of the heavy metal average content in soils from karst landscapes compared to that in carbonate rocks (Kuikin et al., 2001), in soils from background and technogenic regions in Bulgaria (Penin, 2003).



**Фигура 2.** Геохимичен спектър на средното съдържание на тежки метали в рендзини от карстови ландшафти спрямо това в карбонатните скали (Куїкин и др., 2001) и рендзините (Atanassov et al., 2002) в България.

**Figure 2.** Geochemical spectrum of the average heavy metal content in Rendzic Leptosols from karst landscapes compared to that in carbonate rocks (Kuikin et al., 2001) and Rendzic Leptosols (Atanassov et al., 2002) in Bulgaria.



**Фигура 3.** Геохимичен спектър на средното съдържание на тежки метали в сиви горски почви от карстови ландшафти спрямо това в карбонатните скали (Куїкин и др., 2001) и сивите горски почви (Atanassov et al., 2002) в България.

**Figure 3.** Geochemical spectrum of average heavy metal content in Haplic Luvisols from karst landscapes compared to that in carbonate rocks (Kuikin et al., 2001) and Haplic Luvisols (Atanassov et al., 2002) in Bulgaria.

По-интересен резултат показва следващото сравнение. Рендзините от изследваните ландшафти повече разсейват, отколкото концентрират тежки метали в сравнение с усреднените данни за страната в същия почвен тип (фиг. 2). Изключение правят Pb ( $K_c = 1,88$ ) и Zn ( $K_c = 1,07$ ), които се натрупват в почвените профили на изследваните рендзини. Има голяма вероятност тези резултати да са обусловени от по-висок литохимичен фон на двата елемента в част от почвените профили.

Сивите горски почви от изследваните карстови ландшафти също се концентрират в сравнение със средното им съдържание в карбонатните скали на страната (фиг. 3). Стойностите на коефициента  $K_c$  варират от 6,0 за Cr до 1,17 за Ni. Близо до средната стойност в карбонатните скали на страната е съдържанието на Pb –  $K_c = 0,97$ . Тези резултати показват влияние на почвообразуващите карбонатни формации при натрупването на микроелементи в почвените профили.

Съвсем различна е графичната линия, представяща изменението на коефициента  $K_c$  при сравнение със средното съдържание на микроелементите в сивите горски почви в България (фиг. 3). В почвите от карстовите ландшафти се натрупват пет от елементите-тежки метали – Cd (5,2), Cr (1,5), Cu (1,67), Zn (1,33), Pb (1,14). Има вероятност карбонатният почвообразователен процес да е повлиял по-високото средно съдържание на кадмий.

Поради по-малкия брой на пробите за кафяви горски почви в карстови ландшафти на този етап няма да бъде извършен сравнителен анализ.

Доколко отделните съдържания са рискови по отношение на екологичното състояние на районите, може да се провери при сравнение с Максимално допустимите концентрации от Наредба № 3 на МОСВ за нормите на допустимо съдържание на вредни вещества в почвите от 2008 г. Тук са важни и алкално-киселинните условия в отделните почвени хоризонти и профили. При изследваните карстови ландшафти преобладават неутралните до слабо-алкални условия в почвените разтвори (главно при рендзините), но покритите карстови ландшафти с по-дълбоки почви показват слабо- до кисели условия на средата. Това обуславя различна миграция на един и същ елемент при еднакъв подтип, но различен вид ландшафт.

По отношение на Cu: само в 1 повърхностен почвен хоризонт на сива горска почва от Врачанска планина, в района на с. Очин дол, има концентрация по-висока от максимално допустимата – МДК (80 mg/kg при  $pH < 6$ ) – 82 mg/kg. Профилът се намира близо до шосе и антропогенния натиск идва от тази посока.

По отношение на Zn: само в 1 повърхностен почвен хоризонт на кафява горска почва от северната част на Влахина планина (Бобошевски Руен) има значително превишение на МДК (320 mg/kg при  $pH 6-7,4$ ) – 698,8 mg/kg (Ахор = 0–9 cm). В територията има повишена литогеохимично съдържание на този елемент, но тъй като в дълбочина то рязко намалява, може да се предположи, че натрупването му в повърхностния хоризонт е свързано с биологичното му значение за растенията.

По отношение на Cd: почвените профили в северната част на Влахина планина съдържат до 4,1 mg/kg, което надвишава МДК (3,0 mg/kg при  $pH > 7,4$ ). До 3,2 mg/kg кадмий съдържа сива горска почва от източната част на Арбанашкото плато. Тези съдържания са обусловени от карбонатния изветрителен субстрат, който се отличава са

концентрация на този елемент.

Отделни проби показват по-високи резултати от МДК и при никел и олово. Като цяло разположението на профилите изключва антропогенна миграция на тези елементи.

## Заклучение

Карстовите ландшафти не се различават съществено от некарстовите ландшафти по отношение на съдържанието на изследваните тежки метали (изследвани са предимно планински територии). Но тъй като процесите на химично разтваряне са много по-интензивни, миграцията на елементите протича по различен начин от тази при некарстовите ландшафти. Почвите имат съществена карстообразуваща роля с протичащите в нея биогеохимични процеси, които отделят органични и неорганични киселини. Изследването на почвите от карстовите ландшафти на Понор, Влахина, Врачанска планина, както и тези от Западния и Средния Предбалкан показват тенденция на зависимост на концентрацията на изследваните елементи-тежки метали от карбонатния почвообразователен процес. При наличие на такъв тези микроелементи се концентрират в почвените хоризонти и при зоналните сиви горски почви, и при а зоналните рендзини. При наличие на литохимични аномалии или антропогенно влияние се отчитат концентрации, които в отделни случаи превишават максимално допустимите, определени от Наредба № 3 за норми за допустимо съдържание на вредни вещества в почвите (2008).

Изследването ще бъде разширено и в други карстови територии, за да бъде представена по-пълна картина на типове и видове карстови ландшафти в България. Ще бъде изяснена тяхната хоризонтална и вертикална ландшафтно-геохимична структура във връзка с местните литогеохимични условия. Проблемът със замърсяването на карстовите територии е пряко свързан със запазване на ландшафтното разнообразие и създаване на устойчиво използване на ресурсите, които тези ландшафти притежават. Това засяга и значителна част от населението на страната, което обитава дълготрайно тези ландшафти и ползва предоставените от тях услуги.

## Литература:

- Андрейчук, В., 2007. Карстовый ландшафт как геосистема. Проблеми на географията, 1–2, 3–19.
- Велчев, А., 2014. Същност и основни геофизични свойства на карстовите ландшафти, Сб. доклади от международна конференция „30 години катедра „География” във ВТУ „Св. св. Кирил и Методий”, 28–29 ноември 2014, В. Търново, Ивис, 21–33.
- Велчев, А., 2016. По въпроса за класификацията на карстовите ландшафти в България. Год. СУ, ГГФ, кн. 2 – Геогр., 108, 55–62.
- Гвоздецкий, Н. А., 1988. Карстовые ландшафты, М., МГУ, 112 с.
- 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, 1, 3–13.
- Наредба № 3 за норми за допустимо съдържание на вредни вещества в почвите. 2008. ДВ бр. 71.
- Пенин, Р., 2003. Геохимията на ландшафтите – приоритетно научно направление при разкриване и решаване на екологични проблеми. Юбилеен сб. „30 години катедра ЛОПС”, С., Малео-63, 89–94.
- Пенин, Р., З. Чолакова, 1997. Техногеохимични изследвания в долината на р. Янтра в района Велико Търново–Горна Оряховица. Проблеми на географията, 3–4, 39–49.
- Тодоров, Н., М. Контева, Р. Пенин, З. Чолакова, 2013. Съвременна структура на ландшафтите в северния дял на Влахина планина. Год. СУ, ГГФ, кн. 2 – Геогр., 105, 129–154.
- Тодоров, Н., Р. Пенин, З. Чолакова, М. Контева, Т. Стоилкова, 2014. Особенности на съвременните ландшафти в южната част на Влахина планина. Год. СУ, ГГФ, кн. 2 – Геогр., 106, 135–170.
- Чолакова, З., 2016. Ландшафтно-геохимични изследвания в басейна на р. Искър между гр. Нови Искър и гр. Мездра. Дисертация. С., СУ „Св. Климент Охридски”, 293 с.
- Чолакова, З., Д. Аветисян, 2014. Ландшафтно-геохимични особености в басейна на река Лом в Западна Стара планина и Западния Предбалкан. Год. СУ, Геол.-геогр. фак., 106, № 2 – География, 191–216.
- Atanassov, I., K. Tertytze, A. Atanassov. 2002. Background values for heavy metals, PAHs, PCBs in the soils of Bulgaria. Assessment of the Quality of Contaminated Soils and Sites in Central and Eastern European Countries (CEES) and New Independent States (NIS), International Workshop, September 30 – October 3, 2001, Sofia, Bulgaria, GorexPress, 83–103.