

ГЕОХИМИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕЖКИ МЕТАЛИ  
В ЛАНДШАФТИТЕ НА МИЛЕВСКА И ЧУДИНСКА ПЛАНИНА

Румен Пенин<sup>1</sup>, Димитър Желев<sup>1</sup>, Атанас Китев<sup>2</sup>,  
Таня Стоилкова<sup>3</sup>

DOI: 10.35101/prg-2023.1-2.4

Основната цел на изследването е установяване на общото съдържание на асоциация от микроелементи (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Co, Cr) в почвите от ландшафтите на Милевска и Чудинска планина, разположени в Краищенската природногеографска област. Проведени са полеви и лабораторни изследвания на събраните почвени проби от различни хоризонти на кафяви (*Cambisols*) и планинско-ливадни почви (*Umbrosols*), както и интегрална проба от мравуняк. Получените геохимични резултати са анализирани и интерпретирани с геохимични спектри, като са направени сравнения със съдържанието на микроелементи в почвите от други обекти от света, Европа и няколко планини в Западна България. Установени са относително повишени концентрации на микроелементите Zn (149,6 mg/kg), и в известна степен на Pb (19,16 mg/kg) в сравнение с други почви от различни райони на света и планински територии от Югозападна България. Асоциацията от микроелементите Cu, Ni, Mn, Co, Cr се отличава с относително ниски средни съдържания в изследваните почви, които потвърждават фоновия характер на изследваните райони в двете планини. Това се отнася както за кафявите горски (*Cambisols*), така и за планинско-ливадните почви (*Umbrosols*). Установена е слаба до средна степен на връзка между почвообразуващата скала и почвената покривка. Получените резултати могат да бъдат основа при изграждането на комплексен екологичен мониторинг в района на двете планини.

**Ключови думи:** тежки метали, почви, ландшафти, мониторинг на природната среда

---

<sup>1</sup> СУ „Св. Климент Охридски“, ГГФ, <sup>1</sup>Катедра „Ландшафтна екология и опазване на природната среда“; [rpennin@abv.bg](mailto:rpennin@abv.bg); [zhelev@gea.uni-sofia.bg](mailto:zhelev@gea.uni-sofia.bg);

<sup>2</sup> Департамент География – НИГГГ при Българската академия на науките; [atanaskitev@abv.bg](mailto:atanaskitev@abv.bg)

<sup>3</sup> СУ „Св. Климент Охридски“, ГГФ, Катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“; [stoilkova@gea.uni-sofia.bg](mailto:stoilkova@gea.uni-sofia.bg)

# GEOCHEMICAL RESEARCH OF THE HEAVY METALS IN THE LANDSCAPES OF THE MILEVSKA MOUNTAIN AND CHUDINSKA MOUNTAIN

*Rumen Penin, Dimitar Zhelev, Atanas Kitev, Tanya Stoilkova*

**Abstract:** The main purpose of the study is to establish the total content of an association of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Co, Cr), which are prioritized in the organized background monitoring of the natural environment. The study was conducted in the soils of the landscapes of Milevska and Chudinska Planina, located in the Kraišten Natural Geographical Region of Bulgaria. Field and laboratory studies were conducted on the collected soil samples from different horizons of brown (*Cambisols*) and mountain-meadow soils (*Umbrosols*), as well as an integral sample of anthills in characteristic landscapes of the two mountains. The interpretation of the obtained results shows a relatively increased content of trace elements Zn (149.6 mg/kg), and to a certain extent Pb (19.16 mg/kg), compared to other soils from different regions of the world and mountainous territories of the South-West Bulgaria. In some parts of the region, the soil diversity is also due to a relatively high content of lithomass in the soil profile, which is differentiated differently for each soil type. Geochemical spectra were made to establish the soil-forming rock-soil relationship, as well as the degree of differentiation of microelements in the soil horizons. The relationship between the litho-geochemical features and the soil cover is weak to moderate and is related to the specific conditions of soil formation and the established small ore occurrences in the two mountains. The association of trace elements Cu, Ni, Mn, Co, Cr is distinguished by relatively low average contents in the studied soils and confirm the background character of the studied areas in the mountains. This applies both to brown forest soils (*Cambisols*) and to upland-meadow soils (*Umbrosols*). The results of the research can be used in the construction of complex ecological monitoring in the area of the two mountains.

**Keywords:** heavy metals, soils, landscapes, environmental monitoring

## УВОД

Сред важните научни проблеми в геохимията на ландшафтите е установяването на фоновите съдържания на приоритетните за екологични проучвания тежки метали. Това позволява да се създаде информационна банка от данни за концентрациите на тези важни полютанти в природната среда с цел разкриване на степента на техногеохимичното въздействие върху нея. В това отношение у нас се провеждат систематични проучвания на съдържанията на тежки метали в компонентите на ландшафтите и особено на най-информативните от тях – почви и дънни отложения (седименти), както и биогеохимични изследвания, даващи представа за концентрацията на микроелементите в растителността в проучваната територия. Заедно с това се вземат под внимание и местните литогеохимични особености, което дава възможност за разкриване на миграцията и диференциацията на тежките метали в природните комплекси от района на изследване.

Целта на конкретното изследване е установяването на общото съдържание на асоциация от микроелементи (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Co, Cr) в почвите от ландшафтите на Милевска и Чудинска планина, разположени в Краищенската

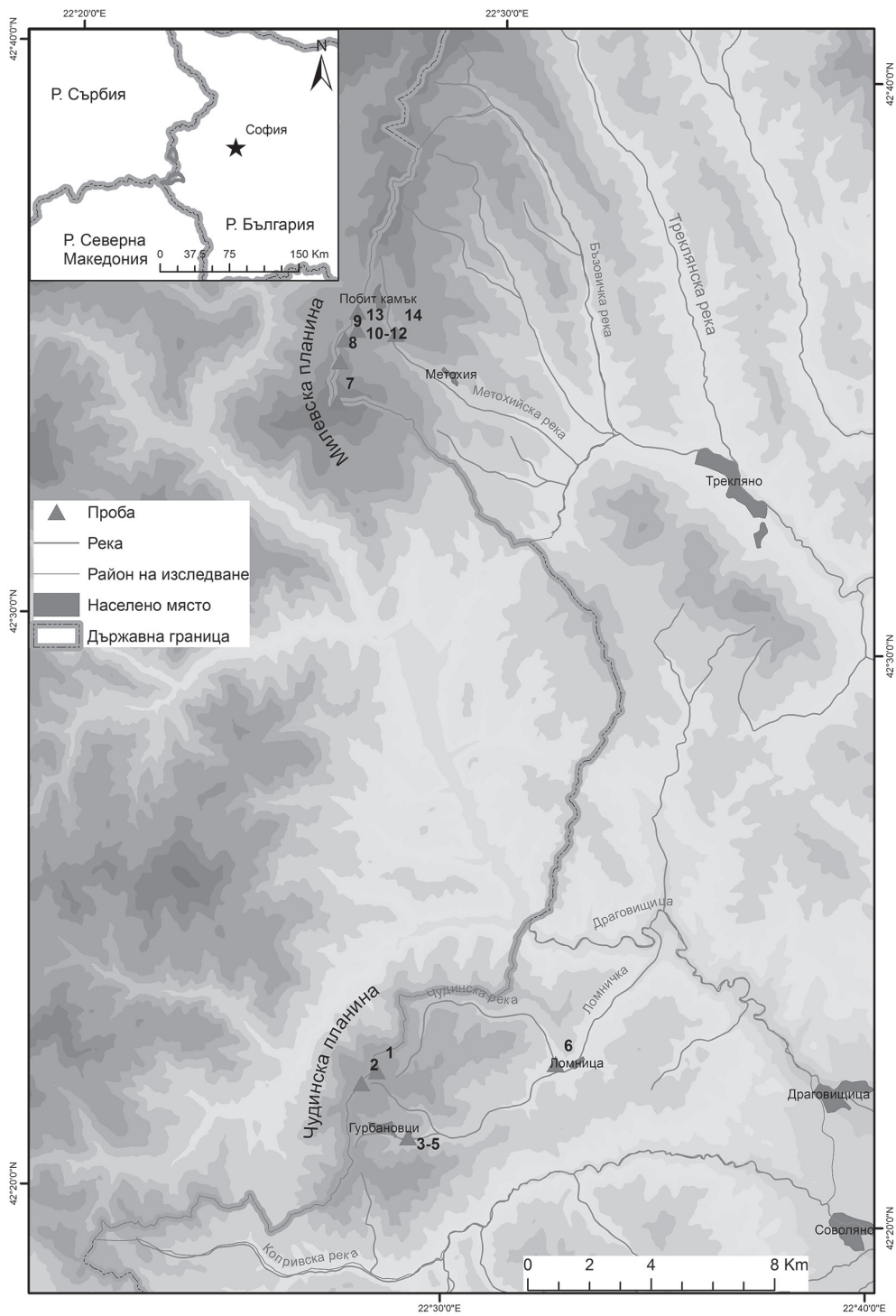
природногеографската област. Те попадат в западната част на Милевско-Конявската планинска редица.

**Милевска планина** е с дължина около 15–16 km, а ширината – 10–12 km. На север чрез висока седловина (1573 m) се свързва с Царичка планина, а на изток долината на Бъзовичка река (десен приток на Треклянска река) я отделя от Кобилска планина. На юг чрез седловината Славчето (960 m) се свързва с Изворска планина, а на запад в територия на Сърбия, долината на Божичка река (ляв приток на Драговищица) я отделя от планината Варденик. Най-високата точка на планината е вр. Милевец (1732,6 m). Милевска планина е изградена основно от долнопалезойски диорити (Струмска формация) (Загорчев, Динкова, 1991). Разпространени са и нискокристалинни шисти, гранити, варовици и др. В по-ниските части има ареали на канелени почви, а във височина – на кафяви и планинско-ливадни. Голяма част от планината е обезлесена, но на места има запазени смесени гори. Билата са заети от пасища.

**Чудинска планина** се простира от югозапад на североизток с дължина около 20 km, а ширината ѝ е до 7–8 km. В северна посока долината на р. Драговищица я отделя от планините Изворска и Земенска. На северозапад е долината на р. Бранковачка (десен приток на Драговищица) идваща от Дукат планина в Сърбия. В южна посока долината на р. Бистрица и нейния ляв приток р. Коприва я отделят съответно от Лисец планина и Каменишката котловина. В източна посока склоновете ѝ се спускат към Кюстендилската котловина. Билото на планината е плоско и леко нахълмено, разположено на 1200–1400 m н.в. Най-висок е вр. Арамлия (1496,4 m). От долината на р. Ломничка (десен приток на Драговищица) планината се разделя два верижни рида – северозападен и югоизточен. Чудинска планина е изградена предимно от долнопалеозойски габроиди, гранити и плагиодиорити (Загорчев, Динкова, 1991). Разпространени са и метаморфни скали – гнайси, шисти и амфиболити. Установени са няколко рудопроявления на олово, цинк, мед и графит, които са без стопанско значение. Склоновете ѝ са обрасли с редки букови и дъбови гори, храстови съобщества, а билата са заети от пасища.

При проучването са взети предвид установените особености на ландшафтната структура и спектри в Краище, направени от проф. А. Велчев (1981, 1997). Теренната работа е извършена през октомври 2018 г., когато са избрани представителни участъци от ландшафтната структура на двете планини и са събрани 13 проби (фиг. 1) от различни хоризонти на кафяви (*Cambisols*) и планинско-ливадни почви (*Umbrosols*), както и една интегрална проба от мравуняк.

Получените геохимични резултати от полевите и лабораторните изследвания са анализирани и интерпретирани и са направени сравнения с почвите в други съпоставими обекти. Този тип изследвания дават основание за провеждането на системни геохимични наблюдения в рамките на бъдещ мониторинг на природната среда на дадена територия (Глазовская, Касимов, 1989). Настоящата статия се явява логично продължение на поредица ландшафтно-геохимични проучвания в пограничните планини на Югозападна България (Пенин, 1989; Велчев и др., 2011; Тодоров и др., 2013; 2014; 2015; Пенин, Желев, 2016; Желев и др., 2019). Това позволява да се направят сравнения с получените резултати за съдържанията на същите микроелементи в почвите на тези планини. Наличието на подобни изследвания е предпоставка за институционален и



Фиг. 1. Карта с местоположението на събраните проби за геохимичен анализ

граждански екологичен контрол на антропогенното въздействие върху природната среда.

## МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Изследването е свързано с разкриването на общото съдържание на тежки метали (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Co, Cr) в почвите като интегрален информационен компонент на ландшафтите в двата района на проучваните планини. Проучването е осъществено в момент, когато не се провеждат системни мониторингови дейности на този приграничен район, ето защо резултатите имат значение на предмониторингови стойности, т.е. отразяват геохимични характеристики на средата преди осъществяване на комплексен геоекологичен мониторинг на природната среда.

Изследването е извършено на базата на събраните проби от различни почвени хоризонти (500 g суха почва за всяка една от тях), както и една интегрална проба от мравуняк. За разкриване на връзката почва–почвообразуваща скала при интерпретацията са използвани резултатите от проучванията на съдържанията на същите микроелементи в скалите в страната и конкретно в киселите скали от района (Куйкин и др., 2001).

Ландшафтно-геохимичното изследване на почвите в двете планини е извършено въз основа и на сравнителния анализ чрез установяването на концентрациите на химичните елементи в почвите и съпоставянето им с осреднени стойности за литосферата, света, България и още пет планини от Осогово-Белашката планинска редица.

Съдържанието на химичните елементи в различните типове скали на земната кора обикновено се отличава от кларка в литосферата. Тази разлика се изразява количествено чрез понятието „кларк на концентрация“ (КК), който представлява отношението между съдържанието на даден елемент в определен природен обект (Сi) (почвен хоризонт, изветрителна кора, растителност, повърхностни води и др.), и кларка на същия елемент в литосферата (К) –  $KK \geq 1$ . Винаги  $KK > 1$  и ако  $KK = 1$ , то съдържанието на елемента в обекта (Сi) е равно на съдържанието му в литосферата (К). Когато Сi е с ниски стойности, се използва показателят „кларк на разсейване“ (КР). Той показва колко пъти кларкът превишава съдържанието на елемента в изследвания обект –  $KP \geq 1$ .

Сравнителният подход е с водещо значение при ландшафтно-геохимичните изследвания – необходимо е да се сравнят различни системи по разпределението на химичните елементи в тях. В тези случаи е най-добре получените данни да се изобразят в т.нар. геохимични спектри. Те улесняват възприемането на резултатите за концентрация или разсейване на елементите в природните обекти. Показателите КК и КР са използвани при изготвянето на интерпретацията и анализа на геохимичните спектри на почвите, взети при теренната работа в Милевска и Чудинска планина.

Осъществяването на ландшафтно-геохимични проучвания за предмониторингови цели е особено важно при бъдещата системна организация на мониторинг на състоянието на природните комплекси в съответния район на проучване. Този тип изследвания са сред приоритетните в съвременната екологична

политика. Ето защо от особено важно значение е разкриването на геохимичната картина както на фонови, така и на относително слабо нарушени в антропогенно отношение територии. При евентуално наложително антропогенно въздействие върху природата на планините, поради една или друга стопанска дейност, резултатите от изследванията ще бъдат основа за проучване на степента на нарушение и оценка на човешкия отпечатък. В конкретното изследване фонвият характер на ландшафтите е отличителна черта на природната среда в двете планини (Велчев, 1981).

Събраните по време на полевия сезон проби са изсушени, квартовани, стрити в порцеланов хапан и пресети през сита с размер 63  $\mu\text{m}$  (за анализ на микроелементния им състав) и 2 mm (за анализ на рН). Химичните анализи на почвените проби са извършени в Лабораторията по геохимия на Геолого-географския факултет на СУ „Св. Климент Охридски“ след изгаряне при 500 °C и пълно последователно разтваряне със смес от киселините  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HF}$  и  $\text{HCl}$ . Съдържанията на тежки метали в получените разтвори са анализирани по метода на атомно-абсорбционната спектрометрия на апарат Perkin-Elmer 3030. Стойностите на рН на почвените проби са определени във воден разтвор, при съотношение почва:вода 1:2,5 след престой 18 часа.

## РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Почвената покривка в двете планини има сходни литогеохимични черти, а също климатични условия, характер на разпределение на повърхностните и подпочвените води, особености на растителната покривка, а това определя и специфичните проявления на почвообразуващите процеси. В някои части на района почвеното разнообразие се дължи и на сравнително високото съдържание на литомаса в почвения профил, която е диференцирана различно за всеки почвен тип. Събраните почвени образци са от хоризонти на два характерни за района на проучване почвени типа: кафяви горски почви (*Cambisols*) и планинско-ливадни почви (*Umbrosols*).

Получените резултати от лабораторните изследвания на общото съдържание на тежките метали в почвите на изследваните райони от Чудинска и Милевска планина са представени в табл. 1. Първите 6 проби са от Чудинска планина, а останалите, включително и пробата от мравуняк, са от Милевска планина. В таблицата и на картата местата на пробосъбиране са привързани към координатната мрежа. Установени са максималните и минималните съдържания за отделните микроелементи и са изчислени средните аритметични стойности. Като представителна за средната стойност на съдържанието на всеки микроелемент е приета медианата на статистическата редица. Това е оправдано при сравнението със съдържанията на изследваните тежки метали в скалите на България – общо и по отделни типове скали, където за представителна също е приета стойността на медианата на статистическата редица. Авторите на геохимичния атлас на Европа (Salminen, R. (ed.). 2005; Tarvainen, Reeder, Albanese, 2005) приемат, че медианата на статистическата редица от геохимични данни отразява най-добре типичните концентрации, отколкото средната аритметична стойност. Затова при анализа на получените от изследването данни се работи с нея.



Съставените геохимични редове на максимални, минимални и средни стойности (медиана) имат съпоставителен характер и дават представа за съотношението на общото съдържание на микроелементите в почвите на изследваните планини:

*Максимални съдържания*

Mn > Zn > Cr > Ni > Pb > Cu > Co

*Минимални съдържания*

Mn > Zn > Cr > Pb > Co > Ni > Cu

*Средни съдържания (медиана)*

Mn > Zn > Cr > Ni > Pb > Cu > Co

В геохимичните редове по отношение на максималните стойности на съдържание на микроелементи, установени от лабораторното изследване за общите съдържания на почвите, се отличава асоциацията Mn, Zn, Cr и Ni, а за минималните стойности – Mn, Zn, Cr и Pb. За средните съдържания асоциацията от тежки метали с най-високи стойности са Mn, Zn, Cr и Ni. С най-ниски стойности за общо съдържание на микроелементите са асоциацията Co, Cu и Ni, както и Pb за средните съдържания.

Резултатите от съдържанията на микроелементи в пробата от мравуняк показват геохимичен ред, близък до тези на почвите в двете планини. Тук се отбелязва изместване и разлика в мястото на Ni, който е с по-високи стойности на общо съдържание (42,87 mg/kg) в сравнение с Cr (14,19 mg/kg), като последният е на трета позиция в другите геохимични редове, а в този е на пета позиция:

Mn > Zn > Ni > Pb > Cr > Cu > Co

Ще отбележим, че в тази почвена проба условията са с повишена киселинност (pH = 4,77), което е предпоставка за по-висока подвижност на някои от микроелементите, в случая Zn (142,02 mg/kg) и Ni (42,87 mg/kg), отличаващи се с по-високи общи съдържания.

Направено е сравнение в съдържанието на тежки метали в А хоризонт на планинско-ливадните почви и кафявите горски почви на проучените планини. Съставеният геохимичен ред показва средните съдържания на микроелементите в този почвен хоризонт:

***Планинско-ливадни почви***

Mn (699 mg/kg) > Zn (109 mg/kg) > Ni (34 mg/kg) > Cr (27 mg/kg) > Pb (14 mg/kg) > Cu (12 mg/kg) > Co (8 mg/kg)

***Кафяви горски почви***

Mn (542 mg/kg) > Zn (124 mg/kg) > Cr (28 mg/kg) > Ni (21 mg/kg) > Pb (24 mg/kg) > Cu (13 mg/kg) > Co (9 mg/kg)

Таблица 1.

Съдържание на тежки метали (mg/kg) в почвите на Милевска и Чудинска планина

Проба	Почва и особености на ландшафта	Хоризонт	Координати	Височина (m)	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr	pH
1.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), доминантна вековна букова гора	A хоризонт 0-10 cm	42°22'20" N 22°28'1" E	1470	52,18	100,75	40,48	1430,34	147,53	36,88	301,36	5,62
2.	Планинско-ливадна почва ( <i>orthic Umbrosols</i> ), вр. Арамлия	A хоризонт (чим) 0-10 cm	42°22'4" N 22°27'54" E	1495	25,31	71,40	8,13	752,85	58,75	14,46	46,09	7,10
3.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), пясъклива фракция, бял бор и млади буки	B хоризонт 60 cm	42°21'10" N 22°29'4" E	1070	10,39	359,15	38,94	579,84	6,06	4,33	12,12	4,48
4.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), гора от бял бор и млади буки	B хоризонт 30 cm	42°21'10" N 22°29'4" E	1070	18,01	69,46	28,30	493,95	9,43	10,29	39,45	4,58
5.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), силно ерозирал, бял бор и млади буки	A хоризонт 0-5 cm	42°21'10" N 22°29'4" E	1070	0,86	46,41	5,16	295,65	1,72	3,44	8,59	6,48
6.	Кафяви горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), смесена храстово-дървесна растителност	A хоризонт (контролна) 0-10 cm	42°22'35" N 22°32'27" E	884	18,50	242,32	14,98	556,90	19,39	10,57	32,60	5,69
7.	Планинско-ливадна почва ( <i>orthic Umbrosols</i> ), под вр. Милевец, субалпийска растителност	A чим 10-20 cm	42°33'57" N 22°26'28" E	1730	6,28	206,44	23,34	473,91	9,87	7,18	22,44	5,85



8.	Планинско-ливадна почва ( <i>orthic Umbrosols</i> ) по билото със субалпийска растителност	А чим 10-20 cm	42°34'40'' N 22°26'29'' E	1570	4,75	50,39	12,36	869,89	32,32	3,80	12,36	7,54
9.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), букова издънкова гора	А чим 10-20 cm	42°35'3'' N 22°26'34'' E	1490	10,21	51,92	15,32	875,00	21,28	7,66	28,94	7,18
10.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), букова издънкова гора	В хоризонт 50 cm	42°35'14'' N 22°26'51'' E	1450	9,00	69,31	27,90	768,70	140,42	7,20	15,30	5,04
11.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), букова гора	АВ хоризонт 20 cm	42°35'14'' N 22°26'51'' E	1450	5,30	65,41	14,14	563,06	3,54	6,19	16,79	5,51
12.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), букова гора	А чим 0-5 cm	42°35'14'' N 22°26'51'' E	1450	12,93	156,90	26,72	287,93	9,48	4,31	25,86	7,28
13.	Мравуняк в смесена гора	мравуняк	42°35'33'' N 22°26'50'' E	1400	8,04	142,02	14,29	497,52	42,87	5,36	14,29	4,77
14.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), букова издънкова гора	А чим контролна 0-10 cm	42°35'12'' N 22°27'46'' E	1250	8,96	177,42	72,58	508,06	14,34	5,38	22,40	4,15
	<b>Максимална стойност</b>				52,18	359,15	72,58	1430,34	147,53	36,88	301,36	
	<b>Минимална стойност</b>				0,86	46,41	5,16	287,93	1,72	3,44	8,59	
	<b>Средна аритметична стойност</b>				13,6	129,2	24,5	639,7	36,9	8,7	42,8	
	<b>Средна стойност (медиана)</b>				10,95	149,6	19,16	502,79	16,86	6,28	24,15	

Проба	Почва и особености на ландшафта	Хоризонт	Координати	Надм. вис. (m)	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr	pH
1.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), доминантна вековна букова гора	A хоризонт 0-10 cm	42°22'20" N 22°28'1" E	1470	52	101	40	1430	148	37	301	5,62
2.	Планинско-ливадна почва ( <i>orthic Umbrosols</i> ), вр. Арамлия	A хоризонт (чим) 0-10 cm	42°22'4" N 22°27'54" E	1495	25	71	8	753	59	14	46	7,10
3.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), пясъклива фракция, бял бор и млади буки	B-хоризонт 50-60 cm	42°21'10" N 22°29'4" E	1070	10	359	39	580	6	4	12	4,48
4.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), гора от бял бор и млади буки	B хоризонт 20-30 cm	42°21'10" N 22°29'4" E	1070	18	69	28	494	9	10	39	4,58
5.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), силно ерозирала, бял бор и млади буки	A хоризонт 0-5 cm	42°21'10" N 22°29'4" E	1070	1	46	5	296	2	3	9	6,48
6.	Кафяви горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), смесена храстово-дървесна растителност	A хоризонт (контролна) 0-10 cm	42°22'35" N 22°32'27" E	884	19	242	15	557	19	11	33	5,69
7.	Планинско-ливадна почва ( <i>orthic Umbrosols</i> ), под вр. Милевец, субалпийска растителност	A чим 10-20 cm	42°33'57" N 22°26'28" E	1730	6	206	23	474	10	7	22	5,85

8.	Планинско-ливадна почва ( <i>orthic Umbrosols</i> ) по билото със субалпийска растителност	А чим 10-20 cm	42°34'40'' N 22°26'29'' E	1570	5	50	12	870	32	4	12	7,54
9.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), букова издънкова гора	А чим 10-20 cm	42°35'3'' N 22°26'34'' E	1490	10	52	15	875	21	8	29	7,18
10.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), букова издънкова гора	В хоризонт 40-50 cm	42°35'14'' N 22°26'51'' E	1450	9	69	28	769	140	7	15	5,04
11.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), букова гора	АВ хоризонт 15-20 cm	42°35'14'' N 22°26'51'' E	1450	5	65	14	563	4	6	17	5,51
12.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), букова гора	А чим 0-5 cm	42°35'14'' N 22°26'51'' E	1450	13	157	27	288	9	4	26	7,28
13.	Мравуняк в смесена гора	мравуняк	42°35'33'' N 22°26'50'' E	1400	8	142	14	498	43	5	14	4,77
14.	Кафява горска почва ( <i>eutric Cambisols</i> ), букова издънкова гора	А чим контролна 0-10 cm	42°35'12'' N 22°27'46'' E	1250	9	177	73	508	14	5	22	4,15
	<b>Максимална стойност</b>				52	359	73	1430	148	37	301	
	<b>Минимална стойност</b>				1	46	5	288	2	3	9	
	<b>Средна аритметична стойност</b>				14	129	25	640	37	9	43	
	<b>Средна стойност (медиана)</b>				11	150	19	503	17	6	24	

Получените геохимични редове показват близки стойности на средно общо съдържание на тежките метали. Манганът и никелът са с по-високи стойности за планинско-ливадните почви, а оловото и цинкът в кафявите горски почви. Като цяло не се наблюдават съществени различия в съдържанията на А х-нт в двата типа почви, което говори за близки почвеногеохимични условия на образуване и на сходни взаимодействия с литогеохимичните и биогеохимични особености. За разкриване на диференцията на микроелементите в дълбочина са взети и проби от преходните и илувиални хоризонти на почвите.

Алкално-киселинните условия (рН) са в основата на миграцията и концентрацията на химичните елементи в почвените хоризонти. Преобладаващата част от изследваните тежки метали са по-подвижни при понижаване на стойностите на рН. За територията на изследвания район те се изменят от кисели до неутрални и слабоалкални (рН = 4,15–7,54) и отразяват измененията в спецификата на почвообразователни условия и връзката с почвообразователната скала.

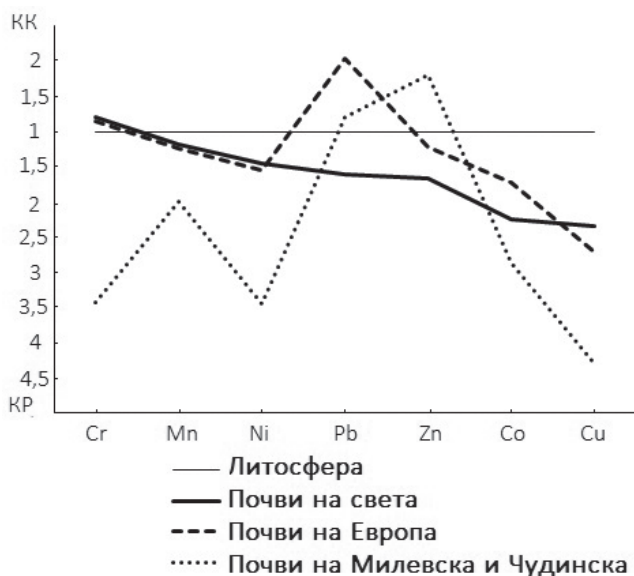
При анализа и интерпретацията на геохимичните особености на тежките метали в района на изследване на двете планини е направена съпоставка със съдържанията им в почвите на света, Европа, България, както и с почви от различни планински райони на страната (табл. 2). Тези резултати позволяват изготвянето на серия геохимични спектри, съпоставящи концентрациите на микроелементите в различни проучени обекти.

Таблица 2.

*Средно съдържание на тежки метали (mg/kg) в литосферата, почвите в избрани територии от света, Европа, България и района на изследване*

<b>Микроелементи</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>
Литосфера	47	83	16	1000	58	18	83
Почви на света <sup>1</sup>	20	50	10	850	40	8	100
Почви на Европа <sup>2</sup>	17,3	68,1	32,6	810	37,3	10,4	94,8
Почви на България <sup>3</sup>	30	75	35	1000	36	20	70
Почви на България (фон) <sup>4</sup>	24	67	25,	695	32	16	60
Почви на Влахина <sup>5</sup>	12	350	21	688	123	41	74
Почви на Малешевска <sup>6</sup>	27	95	26	304	32	9	37
Почви на Огражден <sup>7</sup>	20	103	41	371	45	6	36
Почви на Беласица <sup>8</sup>	30	77	30	802	67	16	101
Почви на Осоговска пл. <sup>9</sup>	92	126	141	457	66	12	41
Почви на Милевска и Чудинска планина	11	149	19	503	17	6	24

<sup>1)</sup> по Виноградов, 1962; <sup>2)</sup> Salminen, 2005; <sup>3)</sup> Мирчев, 1971; <sup>4)</sup> Пенин, 2003; <sup>5)</sup> Тодоров и др., 2014; <sup>6)</sup> Тодоров и др., 2015; <sup>7)</sup> Пенин и др., 2017; <sup>8)</sup> Пенин и др., 2018; <sup>9)</sup> Penin, Zhelev, 2020



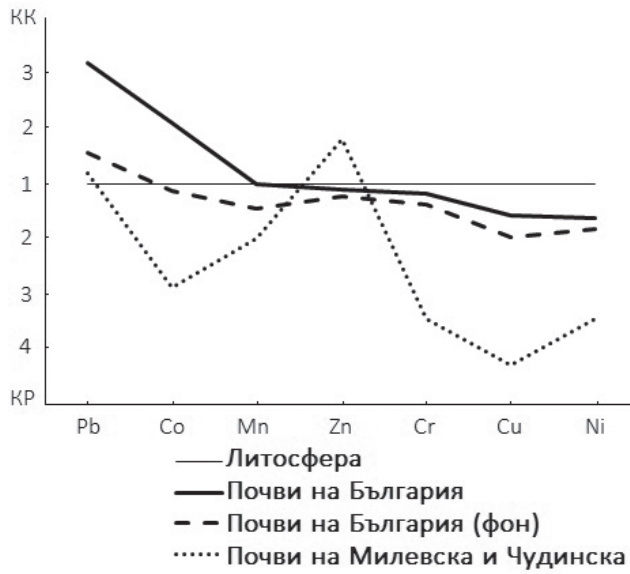
Фиг. 2. Геохимичен спектър на почвите в литосферата, света, Европа и района на проучване

На фиг. 2. е представен геохимичен спектър на почвите в литосферата, света, Европа и района на проучване. В сравнение с почвите на света концентрацията на микроелементите в почвите на двете планини е с по-високи стойности на КК за Zn и Pb, докато останалите тежки метали са с КР по-високи от тези за почвите на света, като това се отнася в най-голяма степен за Cu, Cr и Ni. В сравнение с почвите на Европа единствено Zn в почвите на района на изследване е с по-висока стойност на КК = 1,8, докато за континента той е с КР = 1,2. Всички останали микроелементи са с по-ниски концентрации.

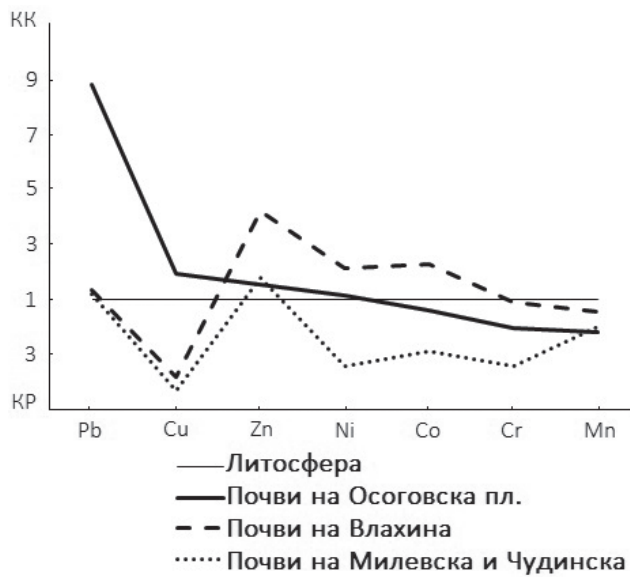
За разкриване на концентрациите на тежки метали в района на изследване в сравнение с почвите на България и почвите във фоновите територии от страната е съставен геохимичен спектър на фиг. 3. На нея ясно се открояват ниските концентрации на проучените микроелементи в почвите на проучения район по отношение на фоновите територии у нас и почвите в страната като цяло. Тези концентрации са под фоновото ниво за страната и са свързани с местните литогеохимични особености. С най-висока стойност на разсейване се отличава медта (КР = 4,3). Единствено Zn е с по-високи стойности на КК, което по всяка вероятност е свързано с възможността част от пробите да са взети от ореолите на откритите неголеми орудявания на цинк в района на проучване.

На фиг. 4 и 5 са изготвени геохимични спектри, които дават представа и възможност за сравнение за КК и КР на проучените тежки метали в почвите от няколко планини в Югозападните части на страната и почвите от Милевска и Чудинска планина.

В първия от тях сравнение е направено с Осоговска и Влахинска планина. На спектъра много добре се открояват ниските концентрации на почти всички



Фиг. 3. Геохимичен спектър на почвите в литосферата, почвите на България, почвите на България (фон) и района на проучване



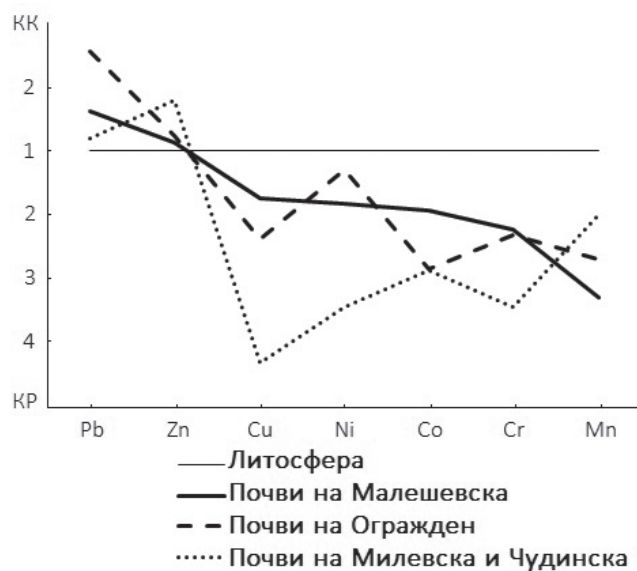
Фиг. 4. Геохимичен спектър на почвите в литосферата, света, почвите в Осоговска и Влахина планина и района на проучване



ки микроелементи, като единствено концентрациите на цинка са почти равни с тези в почвите на Осоговска планина, но са по-ниски от тези в почвите на Влахина планина. Подобно е положението и с оловото, чиито концентрации са близки до тези на почвите във Влахина планина, но са много по-ниски от тези в Осогово. Други проучвания за съдържанието на тежки метали в кафявите горски почви в планината Осогово (резерват „Църна река“) потвърждава извода за по-малки концентрации на микроелементите в този тип почви в Милевска и Чудинска планина. Например асоциацията от микроелементи в почвите на резервата Pb (163 mg/kg), Cu (92 mg/kg), Ni (74 mg/kg), Cr (52 mg/kg), Co (17 mg/kg) е с по-високи съдържания на тежки метали в сравнение с тези от двете изследвани планини (Пенин, 1989).

На фиг. 5 микроелементите Zn и Mn се отличават с относително по-високи концентрации от тези в почвите на Малешевска и Огражден планина. Асоциацията от Cu, Ni и Cr са с най-ниски концентрации в почвите на двете планини. Като цяло и двата спектъра подчертават фоновия характер на общото съдържание на тежки метали в почвите на Милевска и Чудинска планина.

За разкриване връзката между почвообразуващите скали и почвите в двете планини са използвани данни за съдържанията на тежки метали в скалните комплекси. Преобладават киселите скални комплекси – в Милевска планина предимно долнопалеозойски диорити, а в Чудинска – долнопалеозойски габроиди, гранити и плагиодиорити (Загорчев, Динкова, 1991). В табл. 3 са представени данни за средното съдържание на тежки метали в скалите на България, киселите магмени скали на територията на страната и почвите в изследвания район. На основата на данните от табл. 3 е изготвен геохимичен спектър (фиг. 6)



Фиг. 5. Геохимичен спектър на почвите в литосферата, почвите на Малешевска и Огражден планина и района на проучване

Таблица 3.

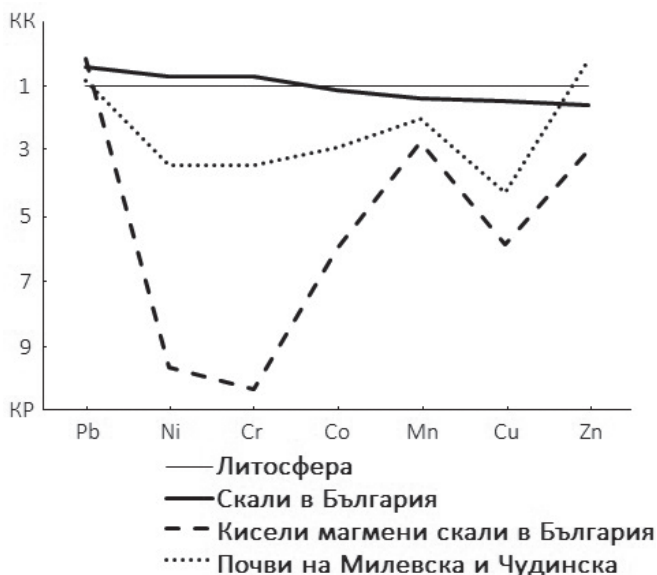
Средно съдържание в скалите на България (mg/kg)

Обект / Микроелементи	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Скали в България <sup>1</sup>	32	53	26	743	77	16	108
Кисели магмени скали в България <sup>1</sup>	8	28	30	370	6	3	8
Почви на Милевска и Чудинска пл.	11	149	19	503	17	6	24

<sup>1</sup> по Куйкин и др., 2001.

На фиг. 6 ясно личи междинното положение, което заемат концентрациите на микроелементи в почвите на двете планини в сравнение със скалите на България и киселите магмени скали. Единствено цинкът е с по-висока стойност на КК = 1,8, докато в скалите този елемент е с невисоки стойности на КР. Както и в другите геохимични спектри, Zn е с относително по-високи концентрации в сравнение с данните за същия елемент в другите планини.

Цинкът е с повишена активност при почви с повишена киселинност, каквато се наблюдава в повечето от изследваните почвени проби. Този елемент при изветряне мигрира по-активно, като образува подвижен йон  $Zn^{2+}$ . Така той лесно се адсорбира от минералните и органичните компоненти в почвата и затова в повечето типове почви се наблюдава акумулацията му в повърхностните хори-



Фиг. 6. Геохимичен спектър на литосферата, скалите на България, киселите магмени скали на България и почвите в района на проучване

зонти (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). В направения анализ на цинка в района на изследване се потвърждават повишените му съдържания в повърхностните хоризонти и средното му общо съдържание достига до 149,6 mg/kg, докато в илувиалния В-хоризонт усредненото съдържание е 86 mg/kg. От друга страна, по-ниско разположените хоризонти се влияят пряко от литогеохимичните особености, на което по всяка вероятност се дължи повишеното съдържание на цинк (359 mg/kg) в проба № 3. Върху диференциацията на този елемент определено влияние оказват и биогеохимичните условия, и типът растителност, способна да извлече и натрупа в повърхностните хоризонти някои подвижни форми на цинка.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеното проучване на съдържанията на тежки метали в почвите на две планини от Краищенската природногеографска област – Милевска и Чудинска, показва повишени концентрации на микроелементите Zn (149,6 mg/kg) и в известна степен на Pb (19,16 mg/kg) в сравнение с други почви от различни райони на света и планински територии от Югозападна България. Най-вероятно това се дължи на влиянието на местните литогеохимични условия върху процеса на почвообразуване и установените неголеми рудопроявления в планините.

Асоциацията от микроелементите Cu, Ni, Mn, Co, Cr се отличава с относително ниски средни съдържания в изследваните почви и потвърждават фоновия характер на изследваните райони в двете планини. Това се отнася както за кафявите горски (*Cambisols*), така и за планинско-ливадните почви (*Umbrosols*).

Получените резултати от изследването могат да бъдат използвани при организацията на мониторинговата система на природните комплекси в двете планини. Геохимичният аспект от комплексния екологичен мониторинг е важна част от периодичните изследвания на ландшафтите, позволяваща да се разкрият естествени или антропогенни изменения в района на двете планини.

## Благодарности:

Статията е резултат от проведените теренни изследвания, финансирани от ФНИ на СУ „Св. Климент Охридски“, договор: №80-10-169 от 25.04.2018, проект: Състояние на съвременните ландшафти и оценка на антропогенизацията в пограничните планини на Краището.

## ЛИТЕРАТУРА

- Велчев, А.** 1981. Ландшафти на Южно Краище – перспективи за тяхното използване и опазване. С., Дисертационен труд, утвърден с Протокол 2-04/ 18.03.1981 г.
- Велчев, А.** 1997. Особенности на височинните ландшафти в Източна Македония и Краище. – Год. СУ, ГГФ, т.90, кн.2 – География.
- Велчев, А., Р. Пенин, Н. Тодоров, М. Контева.** 2011. Ландшафтна география на България. С., Булвест 2000, 235 с. ISBN 9789541807828

- Виноградов, А. П.** 1962. Среднее содержание элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия. М.
- Глазговская, М., Н.С. Касимов,** 1989. Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. М., Наука, 264 с.
- Желев, Д., Р. Пенин, Т. Стоилкова.** 2019. Отпечатъкът на рудодобива: екогеохимична оценка на замърсяването с тежки метали в българската част на планината Осогово. – Год. СУ, ГГФ, т.112, кн.2 – География, с. 146-159.
- Загорчев, И., Й. Динкова.** 1991. Геоложка карта на България – Босилеград и Радомир. Комитет по геология, предприятие за геофизични проучвания и геоложка картиране.
- Кабата-Пендиас, А., Х. Пендиас.** 1989. Микроелементи в почвах и растениях. Москва, Мир., 439 с.
- Куйкин, С., И. Атанасов, Ю. Христова, Д. Христов.** 2001. Фонови съдържания на тежки метали и арсен в почвообразуващите скали в България. – Почвоведение, агрохимия и екология, год. XXXVI, № 1.
- Мирчев, С.** 1971. Химичен състав на почвите в България. Изд. АИ. С., 1971.
- Пенин, Р.** 1989. Ландшафтно-геохимическа оценка заповедных территории Юго-Западной Болгарии. Канд. Дис. Московски университет „М. В. Ломоносов“, М.
- Пенин, Р.** 2003. Геохимията на ландшафтите – приоритетно научно направление при разкриване и решаване на екологични проблеми. – В: Сб. „30 години катедра Ландшафтознание и опазване на природната среда“, Варна, Малео.
- Пенин, Р., Д. Желев.** 2016. Екогеохимични проучвания на ландшафтите в планината Огражден (Югозападна България). – Год. СУ, ГГФ, т.108, кн.2 – География.
- Пенин, Р., Д. Желев, Т. Стоилкова.** 2017. Екогеохимични проучвания на ландшафтите в планината Огражден (Югозападна България). – Год. СУ, ГГФ, т.109, кн.2 – География.
- Пенин, Р., Д. Желев, Т. Стоилкова, Л. Семерджиева, Д. Христова.** 2018. Почвено-геохимично изследване на планината Беласица. – Год. СУ, ГГФ, т.111, Ref, MSc.2018 ISSN 2535-0579 (online). с. 117-130.
- Тодоров, Н., Р. Пенин, З. Чолакова, М. Контева.** 2014. Особенности на съвременните ландшафти в южната част на Влахина планина. – Год. СУ, ГГФ, кн.2 – География.
- Тодоров, Н., Р. Пенин, З. Чолакова, М. Контева, Т. Стоилкова.** 2015. Пространствена структура и геоecологични проблеми на ландшафтите в Малешевска планина. – Год. СУ, ГГФ, кн.2 – География.
- Тодоров, Н., М. Контева, Р. Пенин, З. Чолакова.** 2013. Съвременна структура на ландшафтите в северния дял на Влахина планина. Год. СУ, ГГФ, т.105, кн.2 – География, стр. 129-154.
- Penin, R, D. Zhelev.** 2020. Heavy metals content in the soil of the Osogovo Mountain. *Geobalcanica*, vol:Proceedings 2020, pages: 61-67, ISSN (online):1857-7636.
- Salminen, R.** (ed.). 2005. Geochemical Atlas of Europe. Part 1: Background Information, Methodology and Maps. Espoo, Geological Survey of Finland.
- Tarvainen, T., S. Reeder, S. Albanese.** 2005. Database management and map production. – In: Salminen, R. (Chief-Ed.) et al. 2005. Geochemical Atlas of Europe. Part 1: Background information, Methodology and Maps., GTK, FOREGS-EuroGeoSurveys.