

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“

ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ

Том 113

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”

FACULTI DE GEOLOGIE ET GEOGRAPHIE

Livre 2 – GEOGRAPHIE

Volume 113

БИОГЕОХИМИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ В ПЛАНИНАТА БЕЛАСИЦА

РУМЕН ПЕНИН, ДИМИТЪР ЖЕЛЕВ

*Катедра „Ландшафтна екология и опазване на природната среда“
e-mails: rpenin@abv.bg, zhelev@gea.uni-sofia.bg*

Rumen Penin, Dimitar Zhelev. BIOGEOCHEMICAL RESEARCH IN THE BELASITSA MOUNTAIN

The article displays the estimated regional content of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Mn, Cr, Ni, and Co) in the plants of the Belasitsa Mountain in South-West Bulgaria and North-West Greece. Twelve particular species from the native flora in the mountain such as trees, grass, and moss are examined. The content of heavy metals in their tissues is assessed applying the coefficient of biological absorption regarding the local and the national geochemical background of the soils. The content and concentration of microelements in the researched plants is additionally considered by the application of the clarke concentration and clarke dispersion coefficients. Geochemical spectrums are drawn in order to display the obtain biogeochemical data.

The results of the research show various directions of intercomponent migration within the studied landscapes. Mn is barely accumulated in the phytomass. Pb, Co, and Cr are other elements which have low concentration rates too. The values of the coefficient of biological absorption varies in the various plant species. Zn, Cu, and Ni have the highest values. In many cases there is a direct correlation between the geochemical properties of the bedrock and the soil towards the chemical properties of plant tissues. There are several species (*Primula veris L.*, *Asperula aristata L.*, *Equisetum arvense L.*, etc.) that demonstrate low values for the coefficient of biological absorption.

Key words: flora, heavy metals, contamination, landscapes, environment.

УВОД

През последните десетилетия достиженията на биогеохимията все по-широко се използват в изследванията на съвременните ландшафти. Те имат много важно място в развитието на научните направления, свързани с опазването на природната среда. Биогеохимично изражение имат и конкретните проучвания, свързани с мониторинга на околната среда, както и при разкриване на антропогенното въздействие върху природно-териториалните комплекси. Растителността е особено чувствителна към промените в геохимичната среда, предизвикани от все по-засилващата се стопанска дейност на хората. Сред методите за определяне степента на замърсяване с токсични елементи е биогеохимичната индикация.

Съдържанието и концентрацията на метали в организмите е важна особеност на живата природа, тъй като е свързана с ролята на металите за функционирането на организма. Растенията се отличават с биогеохимична специализация. Тя е два основни вида – систематична и филогенетична. Те са разгледани в редица трудове на В. И. Вернадски и А. Н. Виноградов. Специализацията е свързана с наследственото затвърждаване на определено съдържание на химични елементи в живите растения под геохимичното влияние на екологичните условия през периода на видообразуване. С постепенното изменение на биосферата тази специализация е изпитала еволюционна изменчивост (Бойченко и др. 1972).

Част от съвременните биогеохимични задачи са с екологична насоченост – установяването на биогеохимичната диференциация на основните замърсители както във фонові райони (относително незасегнати от източници на замърсяване), така и в силно антропогенизирани райони, изпитващи съществено техногеохимично въздействие. Необходимо е да се отбележи, че факторите, обуславящи поглъщането на химични елементи и съединения от растенията и формиращи химичния им състав при нормални (фонові) и аномални (рудогенни, техногенни) съдържания в хранителната среда, съществено се различават. Особено важна е диференциращата роля на ландшафтно-геохимичните условия на миграция на елементите (окислително-редукционни, алкално-киселинни условия, степен на минерализация и състав на почвените води и пр.). Всичко това води до систематична биогеохимична специализация на растенията по семейства, родове и видове (Айвазян 1974; Брукс 1986; Ландшафтно-геохимические... 1989; Касимов, 1988 и др.). Биогеохимичната специализация и диференциация на растенията се отчита при избора на видове индикатори на замърсяване на околната среда. В това отношение в редица страни се провеждат интензивни изследвания.

Проследяването на миграцията на тежките метали и техните съединения в природните системи и в частност – в ландшафтите, е пример за биогеохимично изследване. В рамките на ландшафтно-геохимичния подход заедно със

системния анализ на макроравнище, т.е. ландшафтни комплекси на различните природни зони, конкретни наблюдения и изследвания се провеждат на ниво мезо- и микрорелеф, както и на относително прости системи като „почва–растение“, „вода–растение“, „горска постеля – минерална част на почвата“ и др. Подобен комплексен подход позволява с най-голяма достоверност да се характеризира поведението на микроелементите в различните ландшафти – естествено запазени и антропогенизирани в определена степен. Този подход и резултати от него са разработени и получени, усъвършенствани и приложени от редица учени (Перельман 1955, 1975; Перельман, Касимов 1999; Глазовская 1964, 1988; Алексеенко 1990; Пенин 1992; Добровольский 2009 и др.).

Настоящата работа има за цел разкриване на основни черти на биогеохимичната специализация в планината Беласица, заради което са проведени теренни ландшафтни изследвания и са събрани образци от характерни почви на района, както и растителни проби от дървесни, храстови и тревни видове, влаголюбиви и суходлюбиви (табл. 1). Проучванията и лабораторният анализ са направени в периода 2016–2018 г.

МЕТОДОЛОГИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Обектът на изследването е растителният компонент в ландшафтите на планината Беласица на територия на Югозападна България и Северна Гърция. Предметът на изследването е фокусиран върху установяването на интензивността на междуконпонентните миграционни веществени потоци по отношение на изследваните химични елементи (микроелементи) и склонността на растенията към биологичното им поглъщане.

Основната цел на изследването е насочена към анализ на съдържанието на тежки метали в растителния компонент на ландшафтите в планината Беласица по примера на селектирани 12 представителни за местната флора вида. Реализирането на тази цел е осъществено чрез решаването на следните задачи:

1. Идентифициране на представители на местната флора и събиране на биомаса за геохимичен анализ;
2. Анализ и интерпретация на лабораторните данни в контекста на междуконпонентните връзки и миграция на вещества в ландшафтите;
3. Установяване на характерни натрупващи се и разсейващи се в тъканите на растенията асоциации от химични елементи;
4. Установяване на местни растителни видове със склонност към биологично поглъщане спрямо изследваните химични елементи.

Изследването проучва съдържанието в растенията на елементите Pb, Zn, Ni, Co, Cr, Mn и Cu в 12 характерни вида за флората на планината Беласица (сладък кестен (*Castanea sativa* Mill.) – цвят, фий (*Vicia ervilia* (L.) Willd.) – стебло и листа, полски бряст (*Ulmus minor* Mill.) – листа, лечебна иг-

лика (*Primula veris* L.) – листа, дългоцветна лазаркия (*Asperula aristata* L.) – листа и стебло, царска папрат (*Osmunda regalis* L.) – листа и стебло, обикновен бук (*Fagus sylvatica* L.) – листа, хвощ (*Equisetum arvense* L.) – листа и стебло, обикновено киселиче (*Oxalis acetosella* L.) – листа, бадемолистна круша (*Pyrus amygdaliformis* Vill.) – листа, мъх (*Scleropodium touretii* (Brid.) L.F.Koch), кръглолистна каменоломка (*Saxifraga rotundifolia* L.) – листа).

Растителните проби са предварително изсушени. По 20 g от всяка проба са поставени в порцеланови блюда и овъглени в муфелна пещ при постепенно повишаване на температурата до 500 °С в присъствие на въздух. От така получените пепелни остатъци са разтворени по 0,5 g в 5 ml 20% HCl. Разтворите са загрявани до 80 °С с цел пълно разтваряне на пробите и са прехвърлени в мерителни колби от 50 ml. Колбите са допълнени с дестилирана вода и са добре хомогенизирани.

Атомно-абсорбиционният анализ е осъществен с апарат AAS Perkin-Elmer 3030, пламък: ацетилен въздух и съответните за изследваните елементи стандартни условия.

Интерпретацията на получените резултати е осъществена чрез използването на показателя коефициент на биологично поглъщане $A_x = I_x/n_x$ (известен още в литературата и като Кбп), представляващ отношението на съдържанието на микроелемента в зола на растението (I_x) към неговото съдържание в скалата или почвата (n_x) и практически характеризиращ интензивността на поглъщане на елемента от растението. Друг използван показател е ред на биологично поглъщане, даващ сравнителна характеристика на интензивността на поглъщане на елементите от растението (Полынов 1944; Перельман 1975). При изготвянето на геохимичните спектри на микроелементите в компонентите на ландшафта се използват стойностите на коефициента КК (кларк на концентрация), представляващ отношението между съдържанието на даден елемент в конкретен природен обект към кларка на същия елемент в литосферата, както и обратната величина – КР (кларк на разсейване), характеризираща степента на разсейване на елементите в геохимическата система при $КК < 1$ (Перельман 1975). В редица случаи коефициентът A_x се използва в два аспекта: по отношение на кларка на съответния микроелемент в литосферата и в тези случаи е известен като КК (кларк на концентрация) в растенията и по отношение на местните средни съдържания в скалите и почвите (Авессаломова 1987).

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Получените резултати за общото съдържание на микроелементите в прочетените 12 растителни вида са представени в табл. 1.

Съдържание на тежки метали в растителни проби от планината Беласица (mg/kg)
Content of heavy metals in the plant samples from the Belasitsa Mountain (mg/kg)

№	Растителна проба	Местоположение	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
1.	Сладък кестен (<i>Castanea sativa</i> Mill.) – цвят	Северен склон, смесена гора от бук и обикновен кестен, 800 m н.в., 41°21'56"N, 23°11'48"E	125	187	2	680	136	7	0
2.	Фий (<i>Vicia ervilia</i> (L.) Willd.) – стъбло и листа	Северен склон, смесена гора от бук и обикновен кестен, 800 m н.в., 41°21'56"N, 23°11'48"E	96	371	2	746	31	2	6
3.	Полеки бряст (<i>Ulmus minor</i> Mill.) – листа	Южен склон, смесена широколистна гора, 220 m н.в., 41°16'36"N, 23°08'54"E	25	67	1	75	22	0	1
4.	Лечебна иглика (<i>Primula veris</i> L.) – листа	Северен склон, туристически маршрут „Цветна приказка“, местност Бялата чешма, 490 m н.в., 41°21'21"N, 23°05'15"E	32	57	9	187	18	2	12
5.	Дългоцветна лазаркиня (<i>Asperula aristata</i> L.) – листа и стъбло	Северен склон, смесена гора от бук, ляска, ива, залесявания от бял бор, 1200 m н.в., 41°21'16"N, 23°11'30"E	30	87	0	268	7	1	1
6.	Царека папрат (<i>Osmunda regalis</i> L.) – листа и стъбло	Северен склон, бряг на Яворнишка река, водопад, 770 m н.в., 41°21'07"N, 23°02'53"E	71	226	2	466	41	0	2
7.	Обикновен бук (<i>Fagus sylvatica</i> L.) – листа	Северен склон, смесена гора от бук, ляска, ива, залесявания от бял бор, 1200 m н.в., 41°21'16"N, 23°11'30"E	80	236	0	420	44	1	3
8.	Хвощ (<i>Equisetum arvense</i> L.) – листа и стъбло	Северен склон, туристически маршрут „Цветна приказка“, местност Бялата чешма, 490 m н.в., 41°21'21"N, 23°05'15"E	23	65	3	413	7	2	3
9.	Обикновено киселиче (<i>Oxalis acetosella</i> L.) – листа	Северен склон, бряг на Яворнишка река, водопад, 770 m н.в., 41°21'07"N, 23°02'53"E	44	124	3	651	25	5	2
10.	Бадемлистна круша (<i>Pyrus amygdaliformis</i> Will.) – листа	Източно подножие на Беласица, 85 m н.в., 41°23'39"N, 23°19'43"E	104	145	1	380	27	18	6
11.	Мъх (<i>Scleporodium touretii</i> (Brid.) L.F.Koch)	Северен склон, бряг на Яворнишка река, водопад, 770 m н.в., 41°21'07"N, 23°02'53"E	47	172	42	847	146	19	25
12.	Кръглолистна каменоломка (<i>Saxifraga rotundifolia</i> L.) – листа	Северен склон, бряг на Яворнишка река, водопад, 770 m н.в., 41°21'07"N, 23°02'53"E	23	97	2	119	52	4	0
Средна аритметична стойност									
Максимална стойност									
Минимална стойност									
Медиана									

Данните за съдържания на микроелементи в растителността на проучваната планина показват различия както по вид, така и по тип растителност. Получените резултати са съпоставими с други, сходни проучвания на автори у нас и от различни райони на света (Bergman, Cumakov 1977; Mengel, Kirkby 1978; Gough, Shacklette, Case 1979; Kitagishi, Yamane 1981; Биогеохимическая индикация... 1988; Свинец... 1987; Справочник по геохимии 1990; Ковалевский 1991; Кабата-Пендиас, Пендиас 1989; Пенин 1992, 2003; Добровольский 2009 и др.).

Биогеохимичните проучвания са доказали, че всеки растителен вид се отличава с избирателна способност по отношение на микроелементите и техните съединения. Тези особености варират в широки граници, което е обусловено от почвените условия, както и от биологичните специфики на съответния вид.

За различните микроелементи данните варират в относително широки граници. Например за Ni максималното съдържание е 146 mg/kg, а минималното 7 mg/kg, за Mn максималната стойност е 847 mg/kg, а минималната – 75 mg/kg, а за Pb, Co и Cr за някои от проучените видове не са отчетени съдържания за тези микроелементи. Най-вероятно растенията захващат в определена степен или въобще не натрупват тези елементи поради ниските им съдържания в киселите метаморфни скали, които преобладават в района на изследване. Според Куйкин и др. (2001) в тези скали оловото е със средно съдържание 20 mg/kg, кобалтът – 11 mg/kg, а хромът – 34 mg/kg.

Отделни части от проучените видове растения натрупват в една или друга степен микроелементи, като за някои от тях асоциациите от тежки метали са еднакви или близки. Например цветовете на сладък кестен, листата на обикновен бук, фий, листата от бадемолистна круша и мъхът извличат активно асоциацията от елементи Cu, Zn, Ni.

Обикновено медта се концентрира в тъканите на растенията и степента на натрупване зависи от съдържанието на елемента в хранителните разтвори и в почвите, като тази връзка за отделните видове е специфична и в някои видове концентрацията на медта може да достигне по-високи стойности – до 1500 mg/kg (Shacklette et al. 1978; Кабата-Пендиас, Пендиас 1989). В района на изследване концентрациите на този микроелемент варират от 125 mg/kg за сладкия кестен до 23 mg/kg за хвоща и кръглолистната каменоломка. Относително висока е концентрацията на мед в листата на бадемолистната круша (104 mg/kg).

Разтворимите форми на цинка са достъпни за повечето растения и концентрацията му в растенията расте в зависимост от съдържанието му в съответните почви, както и условията на средата. В редица случаи цинкът се натрупва в листата на растенията и се счита за един от добрите индикатори при биогеохимичните изследвания (Петрунина 1974). Получените резултати показват, че с най-високи концентрации е цинкът във фий (371 mg/kg), а с най-ниски – в лечебната иглика (57 mg/kg).

Никелът в изследваните растителни проби варира от 136 mg/kg за сладкия кестен до 7 mg/kg за дългоцветната лазаркиня и хвоща. Този микроелемент има доказана роля в растежа на растенията. Ненапълно изяснена е ролята му в метаболизма на растенията. Концентрациите му в листата на растенията корелира със съдържанията му в почвите, като в редица случаи зависи преди всичко от киселинно-алкалните условия на почвата. Литогеохимията е вероятната причина за относително високите съдържания на този елемент в някои от проучените растения. Подобни повишени концентрации на цинка са установени и за растенията в съседната планина Огражден.

Концентрациите на кобалт варират от 19 mg/kg за изследваната проба от мъх до отсъствието му в растителната проба на листата на полския бряст и царската папрат. Мобилните форми на този елемент в почвените разтвори обикновено се поглъщат по-лесно от растенията. Установено е, че този елемент се поглъща активно и от листата на растенията чрез кутикулата (Кабата-Пендиас, Пендиас 1989). В повечето случаи подобно на мангана и желязото той се пренася във вид на отрицателно заредени комплексни органични съединения (Wiersma, Van Goor 1979).

Относително големи различия се наблюдават в концентрациите на олово в проучените растителни проби. Максимална стойност се отбелязва в пробата от мъх (42 mg/kg), а в пробите от листата на бук и от дългоцветната лазаркиня не е открито наличие на този микроелемент. В сравнение с други подобни проучвания в страната стойностите на оловото в проучените растения на Беласица са относително ниски и могат да се съпоставят с други подобни данни за фонові райони от страната. Този елемент е сред приоритетните при извършване на еколого-геохимични проучвания и е важно да се установят неговите концентрации както във фонові условия, така и в техногенни райони. Установено е, че степента и скоростта му на поглъщане намаляват при алкализация на условията и при по-ниски температури. Като цяло е слабо разтворим в почвите, но се поглъща по-активно от корените, отколкото от останалите части на растенията (Hughes et al. 1980).

Съдържанията на мангана варират от 847 mg/kg при мъха до 75 mg/kg в листата на полския бряст. Манганът се отличава с относително бърз пренос и активно поглъщане от растенията. Той присъства в растителните екстракти преди всичко във вид на свободни катиони (Tiffin 1977). Установена е пряка зависимост между съдържанията му в почвите и натрупването му в растенията. Проучванията показват, че растения, чиято жизнена дейност протича върху един и същ тип почви, натрупват различни количества от манган. Той е считан за биофилен за повечето растения, но е много важно под какви форми се среща в почвената покривка.

Хромът не се отличава с висока биофилност. Най-висока стойност на съдържание има в мъха (25 mg/kg) и в лечебната иглика (12 mg/kg). В останалите растителни проби концентрациите са много ниски, а в кръглолистната камено-

ломка не е установен. Подобни съдържания са открити при редица растителни видове у нас и в чужбина и като цяло е установено, че достъпността му за растенията е ограничена. Счита се, че този микроелемент се пренася в растенията във вид на анионни комплекси (Tiffin 1977; Кабата-Пендиас, Пендиас 1989).

За сравнение на общите съдържания на тежките метали в растенията от Беласица е изготвена табл. 2, в която са дадени резултати за средното съдържание на микроелементи в почвите на Беласица, растенията на Огражден и в почвите на България – фон. Те са основа за съставяне на геохимичните спектри на микроелементите (фиг. 1 и 2).

Таблица 2
Table 2

Средно съдържание на микроелементи в растенията и почвите на Беласица, растенията на Огражден и в почвите на България – фон
Average content of microelements in the plants and in the soils of Belasitsa Mountain, in the plants of the Ograzhden Mountain, and in the soils of Bulgaria (natural background territories)

Съдържание	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Литосфера ¹	47	83	16	1000	58	18	83
Почви България – фон ²	24	67	25	695	32	16	60
Почви на Беласица ³	30	77	30	802	67	16	101
Растения на Огражден ⁴	64	178	21	1149	126	0,84	0,19
Растения на Беласица	45,5	134,5	1,9	416	29	1,9	2,5

¹ Виноградов 1962, ² Пенин 2003, ³ Пенин и др. 2018, ⁴ Пенин и др. 2016

От сравнението в табл. 2 на съдържанията на тежките метали в почвите в Беласица и в растителната покривка се установяват по-високи концентрации в растителните проби на Cu и Zn в сравнение с почвите. Всички останали микроелементи се захващат само в определена степен от растенията. Същото се отнася и за сравнението на почвите на България (фон) и съдържанията в растителните проби. По отношение на почвената покривка на планината и почвите от фоновите райони на страната в растенията най-слабо се натрупват Pb, Co и Cr.

В сравнение с направените аналогични биогеохимични изследвания в планината Огражден се забелязва по-активно извличане от страна на растителните видове от Беласица само на микроелементите кобалт и хром. Всички останали тежки метали се извличат в по-голяма степен в растенията на Огражден.

В табл. 3 и 4 са изчислени стойностите за коефициента на биологично поглъщане – Ах, по отношение на почвите в планината Беласица и почвите на фоновите територии от България. С негова помощ се установява степента на извличане на микроелементите от почвите.

С най-високи стойности Ах се отличава цинкът по отношение на местните почви в планината: фий (Ах = 4,80) и листата на бука (Ах = 3,06), царска папрат (Ах = 2,92). Цветовете на сладкия кестен натрупват в значителна

степен мед ($A_x = 4,16$), а също листата на бадемолистната круша ($A_x = 3,47$) и фий (3,19). Никелът се натрупва в най-голяма степен в мъха ($A_x = 2,19$) и цветовете на сладкия кестен ($A_x = 2,04$). За кобалта най-висока е стойността на $A_x = 1,19$ за мъха. За него е отчетена и най-висока стойност на $A_x = 1,43$ за оловото. Останалите елементи са със средна и ниска степен на концентрация в изследваните растителни проби.

Стойностите на A_x за растенията от Беласица по отношение на почвения фон на страната са подобни, като в табл. 3 максимална стойност е отчетена за цинка във фий ($A_x = 5,54$) и за медта в цветовете на сладкия кестен ($A_x = 5,20$). По отношение на медта и цинка относително високи стойности A_x има за фий, царска папрат, обикновен бук и бадемолистна круша. За мъха е установена и висока стойност на $A_x = 4,57$ за никела, както и за цветовете на кестена $A_x = 4,26$. Манганът се абсорбира относително силно от кръглолистната каменоломка с $A_x = 1,64$.

Като цяло с най-ниски стойности на коефициента на биологично поглъщане са хвощът, листата на полския бряст, лечебната иглика, дългоцветната лазаркиня и кръглолистната каменоломка.

Таблица 3
Table 3

Коефициент на биологично поглъщане (A_x) за различни растителни видове спрямо почвения субстрат, от който са събрани растителните образци

Coefficient of biological absorption (A_x) for various plant species based on the geochemical soils background in the Belasitsa Mountain

№	Растителна проба	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr	Количество на микроелементи с $A_x > 1$
1.	Сладък кестен (<i>Castanea sativa</i> Mill.) – цвят	4,16	2,42	0,06	0,85	2,04	0,42	0,00	3
2.	Фий (<i>Vicia ervilia</i> (L.) Willd.) – стебло и листа	3,19	4,80	0,06	0,93	0,46	0,11	0,06	2
3.	Полски бряст (<i>Ulmus minor</i> Mill.) – листа	0,84	0,86	0,03	0,09	0,32	0,00	0,01	0
4.	Лечебна иглика (<i>Primula veris</i> L.) – листа	1,06	0,74	0,32	0,23	0,27	0,12	0,12	1
5.	Дългоцветна лазаркиня (<i>Asperula aristata</i> L.) – листа и стебло	0,99	1,13	0,00	0,33	0,10	0,06	0,01	1
6.	Царска папрат (<i>Osmunda reglalis</i> L.) – листа и стебло	2,38	2,92	0,06	0,58	0,61	0,00	0,02	2
7.	Обикновен бук (<i>Fagus sylvatica</i> L.) – листа	2,68	3,06	0,00	0,52	0,66	0,06	0,03	2
8.	Хвощ (<i>Equisetum arvense</i> L.) – листа и стебло	0,77	0,84	0,10	0,51	0,10	0,12	0,03	0
9.	Обикновено киселиче (<i>Oxalis acetosella</i> L.) – листа	1,46	1,60	0,11	0,81	0,37	0,33	0,02	2

№	Растителна проба	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr	Количество на микроелементи с $A_x > 1$
10.	Бадемолистна круша (<i>Pyrus amygdaliformis</i> Vill.) – листа	3,47	1,88	0,03	0,47	0,41	1,11	0,06	2
11.	Мъх (<i>Scleropodium touretii</i> (Brid.) L.F.Koch)	1,57	2,23	1,43	1,06	2,19	1,19	0,25	6
12.	Кръглолистна каменоломка (<i>Saxifraga rotundifolia</i> L.) – листа	0,76	1,25	0,07	0,15	0,79	0,24	0,00	1

Изготвеният геохимичен спектър (фиг. 1) позволява да се направи сравнение за степента на концентрация и на разсейване на микроелементите в почвения фон на България, в почвите на Беласица и в растенията от планината. На него ясно се откроява високата стойност на коефициента на разсейване на Cr (КР = 27,7), Co (КР = 9) и Pb (КР = 8). В по-ниска степен това се отнася за мангана. Останалите елементи са със стойности на концентрация и на разсейване, близки до тези на сравняемите почви. Единствено при цинка КК = 1,6 и се натрупа в относително ниска степен в растенията на планината.

Таблица 4

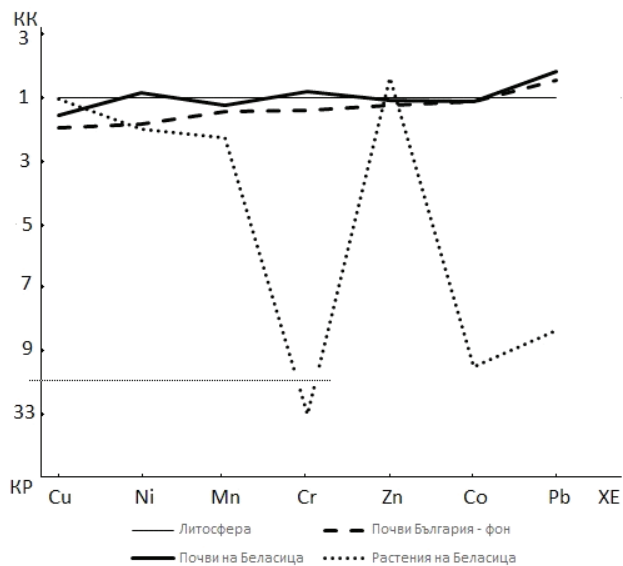
Table 4

Коефициент на биологично поглъщане (A_x) за различни растителни видове
 спрямо почвено-геохимичния фон на България

Coefficient of biological absorption (A_x) for various plant species based on the geochemical natural background for the soils in Bulgaria

№	Растителна проба	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr	Количество на микроелементи с $A_x > 1$
1.	Сладък кестен (<i>Castanea sativa</i> Mill.) – цвят	5,20	2,80	0,08	0,98	4,26	0,42	0,00	3
2.	Фий (<i>Vicia ervilia</i> (L.) Willd.) – стъбло и листа	3,98	5,54	0,07	1,07	0,97	0,11	0,11	3
3.	Полски бряст (<i>Ulmus minor</i> Mill.) – листа	1,05	0,99	0,04	0,11	0,67	0,00	0,02	1
4.	Лечебна иглика (<i>Primula veris</i> L.) – листа	1,33	0,85	0,37	0,27	0,56	0,12	0,20	1
5.	Дългоцветна лазаркиня (<i>Asperula aristata</i> L.) – листа и стъбло	1,24	1,30	0,00	0,39	0,21	0,06	0,02	2
6.	Царска папрат (<i>Osmunda reglalis</i> L.) – листа и стъбло	2,97	3,37	0,08	0,67	1,28	0,00	0,03	3
7.	Обикновен бук (<i>Fagus sylvatica</i> L.) – листа	3,35	3,53	0,00	0,60	1,38	0,06	0,05	3
8.	Хвощ (<i>Equisetum arvense</i> L.) – листа и стъбло	0,96	0,97	0,12	0,59	0,21	0,12	0,05	0
9.	Обикновено киселиче (<i>Oxalis acetosella</i> L.) – листа	1,82	1,85	0,13	0,94	0,77	0,33	0,04	2

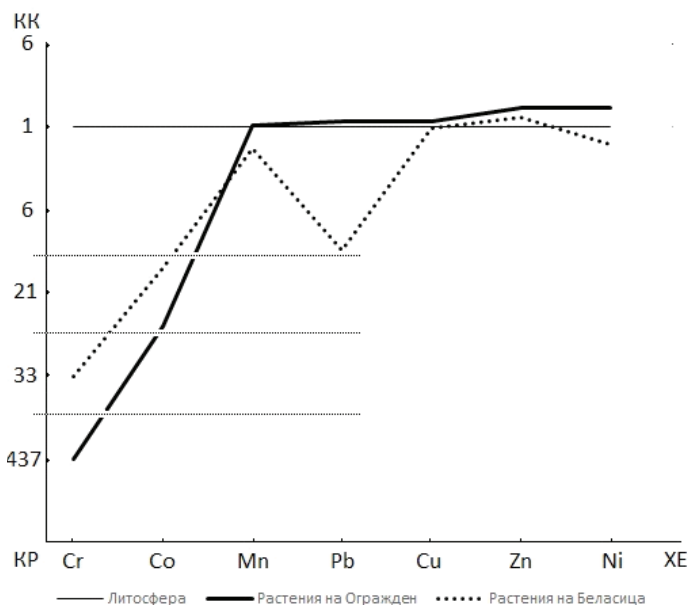
№	Растителна проба	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr	Количество на микроелементи с $A_x > 1$
10.	Бадемолистна круша (<i>Pyrus amygdaliformis Vill.</i>) – листа	4,34	2,17	0,04	0,55	0,84	1,13	0,10	2
11.	Мъх (<i>Scleropodium touretii (Brid.) L.F.Koch</i>)	1,97	2,57	1,69	1,22	4,57	1,20	0,42	6
12.	Кръглолистна каменоломка (<i>Saxifraga rotundifolia L.</i>) – листа	0,95	1,45	0,08	0,17	1,64	0,25	0,00	2



Фиг. 1. Геохимичен спектър на почвите в България – фон, почвите на Беласица и растенията на Беласица

Fig. 1. Geochemical spectrum of the soils in Bulgaria (natural background), the soils in Belasitsa Mountain, and the plants in Belasitsa Mountain

Вторият геохимичен спектър (фиг. 2) позволява сравнение на концентрациите и разсейването на тежките метали в проучените растения в Баласица и съседната планина Огражден. Трябва да отбележим, че това сравнение е относително, като отчитаме различията в скалната основа и видовете проучени растения. Добре личат особено ниските концентрации на хром в двата проучени обекта. За Огражден стойността на КР за този микроелемент показва съвсем слабото захващане от растителността. Също така ниско е и съдържанието на хрома в растителността на Беласица. От останалите тежки метали кобалтът има по-нисък коефициент на разсейване и следователно се захваща от растителността на Беласица в по-голяма степен. Всички останали микроелементи са с по-ниски концентрации в сравнение с растителността на Огражден.



Фиг. 2. Геохимичен спектър на растенията в планините Огражден и Беласица
 Fig. 2. Geochemical spectrum of the mountains in the Ograzhden and Belasitsa Mountain

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеното изследване за съдържанията на седем микроелемента в растителни проби от планината Беласица показва, от една страна, стойности, близки до тези от други биогеохимични проучвания в различни райони на света, а от друга – наличие на повишени или понижени концентрации на тежки метали. Те са сред приоритетните при екологичните изследвания елементи и техните съединения са обект на проучване в редица райони на Европа и света.

Изследването на микроелементите в растения от планината Беласица включва някои от представителните за местната флора видове. Направеният анализ и интерпретацията на получените данни позволяват да се открие асоциация от тежки метали, натрупващи се в растителните органи на проучените растения. Установена е асоциацията от микроелементи Cu, Zn, Ni, която активно се извлича от повечето проучени видове. Манганът е с относително ниска степен на натрупване в растителната маса. С ниска степен на концентрация в изследваните растителни проби са Pb, Co и Cr.

В различните видове растения стойностите на коефициента на биологично поглъщане A_x варират, като най-високи са по отношение на цинка, медта и никела. В редица случаи се наблюдава пряка връзка между лито- и почвено-геохимичните особености и микроелементния състав на някои от проучените

растителни видове. От друга страна, с ниски стойности на Ах се очертава група от няколко вида – хвощ, лечебна иглика, дългоцветна лазаркиня и др.

Геохимичните спектри показват високи стойности на коефициента на разсейване на хром, кобалт и олово както по отношение фоновите почви на страната, така и спрямо почвите на планината Беласица.

Проучванията са проведени в един сравнително фонов район на страната, незасегнат пряко от техногеохимично въздействие. Изследванията и получените резултати са част от биогеохимичните проучвания на авторите в различни райони на страната. Те могат да се използват при провеждане на по-задълбочени изследвания на биогеохимичните особености както на планината Беласица, така и на съседни планини с относително добре съхранени фоновите територии. Подобен тип изследвания са в основата на организирано на регионалния мониторинг на околната среда в тази част на страната и Европа.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научноизследователската работа по изследването бе осъществена благодарение на договор с УФ „Научни изследвания“ за реализирането на научноизследователския проект „Ландшафтно-екологично проучване на планината Беласица“ през 2016 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Авесаломова, И. А. 1987. Геохимические показатели при изучение ландшафтов. Москва: МГУ.
- Айвазян, А. Д. 1974. Геохимические особенности флоры ландшафтов Югозападного Алтая. Москва: МГУ.
- Алексеев, В. А. 1990. Геохимия ландшафта и окружающая среда. Москва: Недра.
- Биогеохимическая индикация окружающей среды. 1989. – В: Тезисы докладов к Всесоюзному семинару, посвященному 125-летию со дня рождения В. И. Вернадского. 1988. Ленинград: Наука.
- Бойченко, Е. А., Г. Н. Саенко, Т. М. Удальцова. 1972. Изменений соотношений металлов и эволюция растений биосферы. Очерки современной геохимии и аналитической химии. Москва: Недра.
- Брукс, Р. Р. 1986. Биологические методы поисков полезных ископаемых. Москва: Недра.
- Виноградов, А. П. 1962. Среднее содержание элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Москва: Геохимия.
- Глазовская, М. А. 1964. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Москва: МГУ.
- Глазовская, М. А. 1988. Геохимии природных и техногенных ландшафтов СССР. Москва: Высшая школа.
- Добровольский, В. В. 2009. Биогеохимия мировой суши. Москва: Научный мир.

- Кабата-Пендиас, А., Х. Пендиас. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир.
- Касимов, Н. С. 1988. Геохимия степных и пустынных ландшафтов. Москва: Изд. МГУ.
- Ковалевский, А. Л. 1991. Биогеохимия растений. Новосибирск: Наука.
- Куйкин, С., И. Атанасов, Ю. Христова и др. 2001. Фонови съдържания на тежки метали и арсен в почвообразуващите скали в България. – *Почвознание, агрохимия и екология*, XXXVI, № 1, 3–13.
- Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. Москва: Наука.
- Пенин, Р. 1992. Биогеохимична специализация на ландшафтите в резервата „Острица“. – *Год. на СУ, ГГФ*, т. 84, кн. 2 – География.
- Пенин, Р. 2003. Геохимията на ландшафтите – приоритетно научно направление при разкриване и решаване на екологични проблеми – В: Юбилеен сборник „30 години катедра „Ландшафтознание и опазване на природната среда“. София: Малео-63.
- Пенин, Р., Д. Желев, Т. Стоилкова. 2016. Биогеохимично изследване на ландшафтите в планината Огражден. – В: Сборник с доклади „Географски аспекти на планирането и използването на територията в условията на глобални промени“, Вършец.
- Пенин, Р., Д. Желев, Т. Стоилкова и др. 2018. Почвено-геохимично изследване на планината Беласица. – *Год. на СУ, ГГФ*, т. 111, кн. 2 – География.
- Перельман, А. И. 1955. Очерки геохимии ландшафта. Москва: Географгиз.
- Перельман, А. И. 1975. Геохимия ландшафта. Москва: Высшая школа.
- Перельман, А. И., Н. С. Касимов. 1999. Геохимия ландшафта. Москва: Астрей-2000.
- Петрунина, Н. С. 1974. Геохимическая экология растений в провинциях с избыточным содержанием микроэлементов (Ni, Co, Cu, Mo, Pb, Zn). – В: Труды биогеохим. лаборатории. Москва: Наука.
- Полынов, Б. Б. 1944. Валовой почвенный анализ и его толкование. – *Почвоведение*, № 10.
- Свинец в окружающей среде. 1987. Москва: Наука.
- Справочник по геохимии. 1990. Москва: Наука.
- Bergman, W., A. Cumakov. 1977. *Diagnosis of Nutrient Requirement by Plants*. G. Fisher Verlag, Jena and Priroda, Bratislava.
- Gough, L. P., H. T. Shacklette, A. A. Case. 1979. Elements concentrations toxic to plants, animals and man. – *U. S. Geol. Surv. Bull.*, 80.
- Kitagishi, K., I. Yamane. 1981. *Heavy Metals Pollution in Soils of Japan*. Tokyo: Japan Science SOCIETY Press.
- Mengel, K., E. A. Kirkby. 1978. *Principles of Plants Nutrition*. International Potash, Institute, Bern.
- Tiffin, L. O. 1977. The form and distribution of metals in plants: an overview. – In: *Proc. Hanfort Life Sciences Symp. Department of Energy, Symposium Series*, Washington, D.C., p. 315.
- Wiersma, D., B. J. van Goor. 1979. Chemical forms of nickel and cobalt in phloem of *Ricinus communis*. – *Physiol. Plant*, 45.

SUMMARY

BIOGEOCHEMICAL RESEARCH IN THE BELASITSA MOUNTAIN

The conducted research surveys the content of 7 chemical elements (heavy metals) within the tissues of plants from the landscapes in the Belasitsa Mountain. These microelements are generally prioritized in terms of environmental protection. Their concentration in particular natural components such as soil, plants, etc. is an object of various international studies. The current research focuses on some representative native plant species. The analysis and the interpretation of the obtained biogeochemical data displays an association of heavy metals that are accumulated in tissues of the researched plants. Mn is barely accumulated in the phytomass. Pb, Co, and Cr are other elements which have low concentration rates too.

The values of the coefficient of biological absorption varies in the various plant species. Zn, Cu, and Ni have the highest values. In many cases there is a direct correlation between the geochemical properties of the bedrock and the soil towards the chemical properties of plant tissues. There are several species (*Primula veris L.*, *Asperula aristata L.*, *Equisetum arvense L.*, etc.) that demonstrate low values for the coefficient of biological absorption.

The geochemical spectrums show high values of the coefficient of dispersion for Cr, Co, and Pb in terms of comparison to the local soils in the Belasitsa Mountain and the soils in Bulgaria (natural background territories) at all.

The studied territory could be considered as a natural background territory due to the lack of direct technogeochemical impact. The conducted research and the obtained results are a part of a wider biogeochemical survey of the authors in this area of the Balkan Peninsula. The provided data could be used in future more detailed studies of the biogeochemical peculiarities of the landscapes in the Belasitsa Mountain as well as in any other mountain with similar features. Such kind of studies are fundamental for facilitating of regional monitoring of the environment.