

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ
Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ
Том 108

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”
FACULTY OF GEOLOGY AND GEOGRAPHY
Book 2 – GEOGRAPHY
Volume 108

БИОГЕОХИМИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В БАСЕЙНА НА РЕКА САЗЛИЙКА

РУМЕН ПЕНИН, ДИМИТЪР ЖЕЛЕВ

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

Rumen Penin, Dimitar Zhelev. BIOGEOCHEMICAL RESEARCH IN THE SAZLIYKA RIVER'S CATCHMENT

The article is dedicated to the biogeochemical analysis of typical landscapes in the catchment of the Sazliyka River in South Bulgaria. The main theoretical aspects of the research methodology and the methodics of biogeochemical landscape status evaluation on the basis of own field and laboratory research of the river catchment have been implemented. The heavy metals' content in the selected plants of landscapes have been identified. Analyzes and comparisons with other biogeochemical studies in Bulgaria and abroad have been done. Research outcomes about the biogeochemistry of the Sazliyka River's catchment have been obtained.

Key words: landscapes, biogeochemistry, heavy metals, geochemical spectrums, soils.

УВОД

Биогехимията е сред науките, които през последните десетилетия се развиват бурно във връзка с разкриването на дълбоките взаимоотношения между живата и неживата природа. Според думите на основоположника на тази модерна и актуална наука – акад. В. И. Вернадски, тя изучава организмите в качеството им на водещ фактор в миграцията на веществата и разпределението на химическите елементи и съединения на Земята. Предмет на науката са процесите на миграция и масообмен на химичните елементи между живите организми и окръжаващата ги среда. От друга страна, учението за живото вещество е фокус на съприкосновение на естествознанието и философията.

На тази основа пред биогеохимията стоят за разрешаване редица научни задачи за разкриване на връзката между ландшафтните компоненти, за цикличността на биогеохимичните процеси и редица конкретни екологични аспекти на живата природа. Геохимията на ландшафтите и биогеохимията са тясно свързани както в теоретичен, така и практически аспект. Те отдавна са намерили мястото си в системата на естествените науки.

Част от биогеохимичните проучвания обхващат миграцията на тежките метали и техните съединения в природните системи и в частност в ландшафтите. 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 пр. 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 резултатите от него са разработени и получени, усъвършенствани и приложени от редица учени (Перельман, 1955, 1975; Ковда, 1985; Перельман, Касимов, 1999; Глазовская, 1964, 1988; Алексеенко, 2000; Ковалевский, 1991; Башкин, Касимов, 2004; Добровольский, 2009; Norrish, 1975; и др.).

Ролята на металите и тяхната концентрация е особено важна за функционирането на организмите. Ето защо биогеохимичната специализация на растителните видове е сред приоритетните проучвания. Тя е два основни вида – систематична и филогенетична, и е разгледана в редица трудове на В. И. Вернадски и А. Н. Виноградов. Тази специализация 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; Добровольский, 1998).

Сред съвременните биогеохимични задачи в екологичен аспект е 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. Факторите, обуславящи поглъщането на химични елементи и съединения от растенията и формиращи химичния им състав при нормални (фонові) и аномални (техногенни, рудогенни) 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, състав на почвените води и пр.). Всичко това води до систематична биогеохимична специализация на растенията по семейства, родове и видове (Ландшафтно-геохимические..., 1989; Айвазян, Касимов, 1979; Брукс, 1986; Касимов, 1980 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. Естествен етап от този тип изследвания е и установяването на биогеохимичните бариери и осо-

бено на фитогеохимичните. Важността на тези бариери при изучаването на миграцията на елементите е доказана от направените научни изследвания от редица автори (Алексеенко, Алексеенко, 2003).

Друг важен момент в изследванията на редица учени е изясняването на съдържанието на химичните елементи в живото вещество на континентите и океаните, или т. нар. кларки на живото вещество. Това е трудна задача, тъй като концентрацията на елементите в живите организми е променлива и зависи от редица фактори – средата на обитаване, стадий на развитие на организма, систематическо положение и др.

Освен това в един организъм концентрациите на един и същ елемент в отделните му тъкани и органи не е еднакъв. Химичният състав на живите организми се влияе и от сезоните и възрастта им, което е особено важно при провеждането на теренни биогеохимични и ландшафтно-геохимични проучвания. В редица случаи концентрациите на микроелементи например може да превишава кларка на елемента десетки и стотици пъти, което е обяснимо от физиологична гледна точка, тъй като те играят важна роля във функционирането на организма. От друга страна, обаче, това е и аномално съдържание, и тази способност на организмите се използва и при търсенето на полезни изкопаеми, както и при определянето на степента на замърсеност и антропогенно натоварване на ландшафтите в различни зони на силно техногенно въздействие (Norrish, 1975; Bowen, 1979; Hughes, Lepp, Phipps, 1980; Касимов, 1980; Глазовская, 1988; Юркевич, 1988; Биоиндикация..., 1988; Аржанова, Ельпатовский, 1990; Перельман, Касимов, 1999; Техногенез..., 2003; Алексеенко, 2011 и др.).

Ландшафтно-геохимичните и биогеохимичните изследвания у нас имат над половинвековна история и дават добра представа и възможности за сравняване на концентрациите на редица химични елементи и съединения с подобни проучвания по света. Те имат и практическа значимост при откриването на полезни изкопаеми, установяване и решаване на конкретни проблеми, свързани със замърсяването на околната среда, разкриване на техногеохимични ореоли и др.

Направените от нас проучвания в различни райони на страната и съседни балкански райони в различни периоди от време дават възможност за сравнение и изводи по отношение на изследвания във водосборния басейн на р. Сазлийка. Резултатите показват общото съдържание на микроелементи както в относително незасегнати от антропогенна дейност (фонови) райони, така и в територии с различна степен на техногенно въздействие (Пенин, 1992, 1997, 2000; Пенин, Гиков, 1999; Пенин, Желев, Стоилкова, 2013; Penin, Stoilkova, 2010 и др.).

МЕТОДОЛОГИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Направеното теренно и лабораторно изследване има за цел разкриване на основни черти на биогеохимичната специализация в басейна на р. Сазлийка, главен ляв приток на р. Марица, чиято територия в голяма степен е подложена на интензивна антропогенна дейност. Подбрани са микроелементи, които са приоритетни в еколого-геохимично отношение и които имат важно значение за разкриването на съвременната ландшафтно-геохимична обстановка в избрани територии от страната. Изследвано е

общото съдържание на микроелементи в листната маса на съответните дървесни, храстови и тревни видове. Направен е анализ и на интегрални тревни проби (разнотревие), събрани от 1 m² площ. Видовете са подбирани като характерни за съответните теренно проучени ландшафти от басейна на р. Сазлийка.

За целта са проведени неколкогодишни ландшафтни изследвания и са събрани образци от характерни почви на района, както и растителни проби (табл. 1, 2 и 3). Проучванията и лабораторният анализ са направени в периода 2010–2014 г.

Съдържанието на микроелементите – Pb, Zn, Ni, Co, Cr, Mn и Cu е определено чрез AAS. 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 °C, 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 °C 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-абсорбционният анализ е осъществен на AAS „Perkin-Elmer“ 3030, пламък: ацетилен–въздух и съответните за изследваните елементи стандартни условия.

При интерпретацията на получените резултати са използвани следните показатели: коефициент на биологично поглъщане $Ax = lx/nx$ (известен още в литературата и като Кбп), представляващ отношението на съдържанието на микроелемента в зола на растението (lx), към неговото съдържание в скалата или почвата (nx), и практически характеризиращ интензивността на поглъщане на елемента от растението; 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 KK (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 – KP (кларк на разсейване), характеризираща степента на разсейване на елементите в геохимическата система при $KK < 1$ (Перельман, 1975). В редица случаи коефициентът Ax се използва в два аспекта: по отношение на кларка на съответния микроелемент в литосферата, и в тези случаи е известен като KK (кларк на концентрация) в растенията, и по отношение на местните средни съдържания в скалите и почвите (Авессаломова, 1987).

Получените резултати за съдържанията на микроелементите в отделните растителни видове, както и средното им съдържание, показват различия както по видове, така по тип растителност (табл. 1). Част от резултатите са обсъдени и анализирани в друга наша публикация, която е първоначален етап от биогеохимичните проучвания на басейна, а именно – в обсега на Старозагорското поле (Пенин, Желев, Стоилкова, 2013).

Получените данни 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; Пенин, 2003; Добровольский, 2009 и др.).

Таблица 1
Table 1

Съдържание на тежки метали в избрани растителни видове
от водосборния басейн на р. Сазлийка (*mg/kg*)
Content of heavy metals in selected plant species
in the Sazliyka River's catchment (*mg/kg*)

Проба	Растение	Място	Коорд.	Почва	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Био 1	интегрална тревна проба	Старозагорско поле	42,42°N, 25,65°E	смолница	43	336	62	541	163	16	10
Био 2	ориз (<i>Oryza sativa</i>)	Старозагорско поле	42,42°N, 25,65°E	смолница	10	117	11	1537	43	1	1
Био 3	драка (<i>Paliurus spina-christi</i>)	Старозагорско поле	42,42°N, 25,64°E	антропогенна	25	150	61	2196	127	24	3
Био 4	коноп (<i>Cannabis sp.</i>)	Старозагорско поле	42,42°N, 25,64°E	алувиална	24	184	54	2052	119	19	5
Био 5	благун (<i>Quercus frainetto</i>)	Старозагорско поле	42,43°N, 25,65°E	алувиална	35	190	62	468	106	23	4
Био 6	липа (<i>Tilia sp.</i>)	Стара Загора	42,43°N, 25,65°E	антропогенна	27	122	73	390	199	22	15
Био 7	копривка (<i>Celtis australis</i>)	Стара Загора	42,43°N, 25,65°E	антропогенна	15	106	82	645	104	21	6
Био 8	папур (<i>Typha angustifolia</i>)	Старозагорско поле	42,43°N, 25,65°E	алувиална	13	73	62	115	132	16	3
Био 9	благун (<i>Quercus frainetto</i>)	Старозагорско поле	42,43°N, 25,65°E	смолница	60	241	52	9145	33	0	2
Био 10	обикновен габър (<i>Carpinus betulus</i>)	Сърнена гора	42,44°N, 25,49°E	канелена горска	83	354	76	2576	24	6	4
Био 11	маслодайна роза (<i>Rosa damascena</i>)	Сърнена гора	42,44°N, 25,49°E	канелена горска	94	290	77	204	3	0	3
Био 12	цикория (<i>Cichorium intybus</i>)	Старозагорско поле	42,43°N, 25,65°E	смолница	112	331	75	188	4	0	2
Био 13	момкова сълза (<i>Polygonatum odoratum</i>)	Сърнена гора	42,44°N, 25,49°E	канелена горска	34	190	64	390	26	0	4
Био 14	кукуряк (<i>Helleborus odorus</i>)	Сърнена гора	42,44°N, 25,49°E	канелена горска	33	179	66	150	10	0	0
Био 15	благун (<i>Quercus frainetto</i>) и цер (<i>Q. cerris</i>)	Манастирски възв.	42,13°N, 25,85°E	канелена горска	133	341	61	11397	31	6	0
Био 16	изворник (<i>Puccinellia distans</i>)	Старозагорско поле	42,30°N, 25,93°E	солонец	463	309	53	7244	5	46	0

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

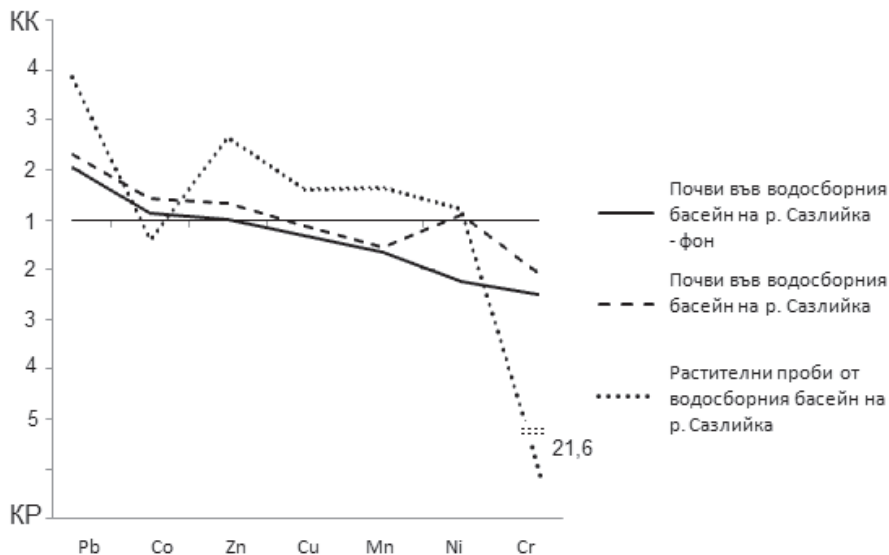
Представените резултати в табл. 1 и 2, както и фиг. 1, дават представа за нивата на концентрации на изследваните микроелементи в избрани растителни видове от басейна на р. Сазлийка.

С най-високи концентрации в повечето проучени видове и интегрални проби е оловото, чиито максимални концентрации достигат за листата на южната копривка (*Celtis australis*) – 82 mg/kg, а средните съдържания за дървесните и храстовите видове достига 67,9 mg/kg, а за тревните – 55,6 mg/kg. От друга страна, съдържанията на Pb в почвите от басейна на р. Сазлийка превишава повече от 2 пъти неговия кларк и се доближават до тези за средните на страната. Коефициентът на биологично поглъщане варира в широки граници, като е минимален за ориза – 0,11, и достига 3,7 за интегралната проба от листа на два вида дъб. В литературата се отбелязва натрупване на Pb в наземните части на растенията при определени условия. Като цяло концентрациите му са най-високи в кореновата система на растенията, където поглъщането има пасивен

Таблица 2
Table 2

Средни съдържания на тежки метали в растителните проби в басейна на р. Сазлийка (mg/kg)
Average content of heavy metals in plant samples in the Sazliyka River's catchment (mg/kg)

Показател	Химичен елемент						
	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Максимално съдържание	463,1	354,2	82,0	11397,0	199,0	46,3	15,0
Минимално съдържание	10,0	73,0	11,0	115,0	3,0	0,0	0,0
Медиана	236,5	213,6	46,5	5756,0	101,0	23,2	7,5
Средно съдържание в Старозагорско поле	39,3	200,1	56,0	1821,3	81,8	16,1	3,3
Средно съдържание в Сърнена гора	61,0	253,2	70,5	829,9	15,7	1,5	2,6
Средно съдържание в Стара Загора	21,0	114,0	77,5	517,5	151,5	21,5	10,5
Средно съдържание в дървесни и храстови видове	58,9	224,1	67,9	3377,6	78,5	12,8	4,6
Средно съдържание в тревни видове	91,5	214,8	55,6	1527,1	62,6	12,3	3,1
Средно съдържание в хидроморфни и субхидроморфни видове	127,5	170,8	44,7	2736,9	74,7	20,6	2,3
Средно съдържание на видове върху смолници	56,1	256,2	49,9	2852,8	60,7	4,3	3,7
Средно съдържание на видове върху канелени горски почви	75,4	270,5	68,5	2943,2	18,8	2,4	2,1
Средно съдържание на видове върху алувиални почви	24,0	149,0	59,3	878,3	119,0	19,3	4,0
Средно съдържание на видове върху антропогенни почви	22,3	126,0	72,0	1077,0	143,3	22,3	8,0
Средно съдържание	75,2	219,4	61,7	2452,3	70,6	12,5	3,8



Фиг. 1. Геохимичен спектър на почвите и растителността от басейна на р. Сазлийка

Fig. 1. Geochemical spectrum of soils and plants in the Sazliyka River's catchment

характер. Скоростта му на поглъщане се понижава при наличие на карбонати и в райони с по-ниски температури (Zimdahl, 1975 – 902; Hughes, Lepp, Phipps, 1980 – 331). Независимо, че оловото се отличава с недобра разтворимост в почвите, то се поглъща от кореновите власинки и се задържа в стените на клетките. В случаите, когато оловото присъства в по-големи концентрации в хранителните разтвори в разтворими форми, корените на растенията са способни да го поглъщат по-активно, като скоростта на поглъщане нараства с концентрациите му и с времето. Придвижването на микроелемента от корените към надземните части е сравнително ограничено и според някои автори достига едва 3% от съдържанието на елемента в корените (Zimdahl, 1975 – 902). Съществуват редица хипотези за начина на усвояване на този елемент от растенията, но няма общоприета.

На построения геохимичен спектър (фиг. 1) ясно личи повишената концентрация на оловото в сравнение с другите проучени елементи. Кларкът на концентрация надвиша 4, а този елемент, заедно с цинка, кобалта, медта и мангана, образуват геохимическата асоциация от микроелементи, натрупващи се спрямо местните почви на басейна на р. Сазлийка.

Впечатление правят относително високите съдържания и на елемента Zn в повечето от проучените видове, като най-високи стойности се отбелязват за интегралната проба от листна маса на благун (*Quercus frainetto*) и цер (*Q. cerris*), взета от Манастирските възвишения, от интегрална тревна проба, както и от обикновен габър (*Carpinus betulus*),

Таблица 3
Table 3

Средно съдържание на тежки метали в литосферата и в почвите
от басейна на р. Сазлийка (*mg/kg*)

Average content of heavy metals in the lithosphere and in soils
of the Sazliyka River's catchment (*mg/kg*)

Почви	Химичен елемент							
		Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Литосфера ¹		47	83	16	1000	58	18	83
Почви във водосб. басейн на р. Сазлийка – фон ²		35,1	83,0	32,6	611,2	25,8	20,5	33,1
Почви във водосб. басейн на р. Сазлийка ²		42,0	109,7	36,8	648,9	63,8	25,6	39,8
Почви в Старозагорско поле ²		31,5	101,0	32,6	565,8	38,1	21,2	38,5
Засолени почви в Старозагорското поле ²		40,2	74,6	53,5	379,3	30,8	23,8	55,1
Почви в Сърнена гора ²		57,9	99,7	37,0	734,8	31,2	30,0	36,6
Почви в град Стара Загора ²		88,2	148,6	66,2	670,4	22,8	37,6	24,3
Почви в Манастирските възвишения ²		37,7	69,6	16,3	495,5	29,7	16,0	40,3

¹ Виноградов, 1962.

² Резултати от изследвания на авторите (фондови материали).

цикорията (*Cichorium intybus*) и изворника (*Puccinellia distans*). Концентрациите надвишават 300 mg/kg.

Известно е, че редица видове имат толерантност към Zn и способността да го поглъщат и натрупват от почвите. Средното съдържание на този елемент в почвите от басейна е почти 110 mg/kg, което превишава съдържанието му в литосферата, почвите на света и на страната. Получените концентрации за цинка превишават и съдържанията от почвите в антропогенни територии у нас (Пенин, 2003). Естествено е, като цяло, да се очакват повишени съдържания и в растителната покривка на басейна. Известни са редица примери за представители на различни родове, които са дори индикатори за повишени съдържания в околната среда на цинк.

Видовете, които имат афинитет към натрупване на този елемент, в много случаи не показват симптоми на токсикоза, и вероятно отслабват действието му върху или по пътя на метаболическата адаптация и комплексобразуване, или по пътя на ограничаване на присъствието на Zn в клетките на растението, а в трети случай е възможно елементът да преминава в неразтворими форми в част от тъканите (Петрунина, 1974 – 613). От друга страна, е важно в какви отношения влиза този съществен микроелемент с другите тежки метали при съответните почвеногеохимични условия. Коефициентът на биологично поглъщане (табл. 5) за Zn достига високи стойности за посочените растителни проби, като варира от 3,1 до 4,9 спрямо съответните почви.

При медта се наблюдават твърде широки граници на вариране на стойности на концентрации в растенията: от 463,1 mg/kg за изворника, растящ върху солонци, до 10 mg/kg за ориза, характерна култура в дадени участъци на Старозагорското поле. Като цяло

Таблица 4
Table 4

Коефициент на биологично поглъщане (A_x) за различни растителни видове
спрямо съответната почва, която обитават растителният вид

Coefficient of biological absorption (A_x) for different plant species towards
the soil in the habitat of plant

Растение	Химичен елемент							Количество на микроелементи с $A_x > 1$
	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr	
Интегрална тревна проба	1,4	3,3	1,9	1,0	4,3	0,8	0,3	5
Ориз (<i>Oryza sativa</i>)	0,3	1,2	0,3	2,7	1,1	0,0	0,0	3
Драка (<i>Paliurus spina-christi</i>)	0,8	1,5	1,9	3,9	3,3	1,1	0,1	5
Коноп (<i>Cannabis sp.</i>)	0,8	1,8	1,7	3,6	3,1	0,9	0,1	4
Благун (<i>Quercus frainetto</i>)	1,1	1,9	1,9	0,8	2,8	1,1	0,1	4
Липа (<i>Tilia sp.</i>)	0,3	0,8	1,1	0,6	8,7	0,6	0,6	1
Южна копривка (<i>Celtis australis</i>)	0,2	0,7	1,2	1,0	4,6	0,6	0,2	3
Папур (<i>Typha angustifolia</i>)	0,4	0,7	1,9	0,2	3,5	0,8	0,1	2
Благун (<i>Quercus frainetto</i>)	1,9	2,4	1,6	16,2	0,9	0,0	0,1	4
Обикновен габър (<i>Carpinus betulus</i>)	1,4	3,6	2,1	3,5	0,8	0,2	0,1	4
Маслодайна роза (<i>Rosa damascena</i>)	1,6	2,9	2,1	0,3	0,1	0,0	0,1	3
Цикория (<i>Cichorium intybus</i>)	3,6	3,3	2,3	0,3	0,1	0,0	0,0	3
Момкова сълза (<i>Polygonatum odoratum</i>)	0,6	1,9	1,7	0,5	0,8	0,0	0,1	2
Кукуряк (<i>Helleborus odorus</i>)	0,6	1,8	1,8	0,2	0,3	0,0	0,0	2
Благун (<i>Quercus frainetto</i>) и цер (<i>Q. Cerris</i>)	3,5	4,9	3,7	23,0	1,1	0,4	0,0	5
Изворник (<i>Puccinelia distans</i>)	14,7	3,1	1,6	12,8	0,1	2,2	0,0	5

най-високи са концентрациите на елемента в хидроморфните и субхидроморфните видове – 127,5 mg/kg, докато в тревните видове достигат 91,5 mg/kg, а в храстовите и дървесни видове – 58,9 mg/kg.

Медта е микроелемент, който може да бъде концентриран във високи стойности в отделни растителни видове. Известно е, че натрупването на този елемент в тъканите на растенията зависи преди всичко от нивото му на съдържание в хранителните разтвори и почвите.

Коефициентът на биологично поглъщане за медта спрямо почвите, на които растат растенията, варира, като има максимални стойности за изворника – 14,1, а също и високи стойности за цикорията – 3,6 и интегралната проба от листа на дъб – 3,5. С подобен мащаб са и стойностите на A_x за проучените видове спрямо почвено-геохимичния фон (табл. 5).

Таблица 5
Table 5

Коефициент на биологично поглъщане (A_x) за различни растителни видове
спрямо местния почвено-геохимичен фон

Coefficient of biological absorption (A_x) for different plant species towards the local
geochemical background of soils

Химичен елемент Растение	Химичен елемент							Количество на микроелементи с $A_x > 1$
	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr	
Интегрална тревна проба	1,2	4,0	1,9	0,9	6,3	0,8	0,3	3
Ориз (<i>Oryza sativa</i>)	0,3	1,4	0,3	2,5	1,7	0,0	0,0	3
Драка (<i>Paliurus spina-christi</i>)	0,7	1,8	1,9	3,6	4,9	1,2	0,1	5
Коноп (<i>Cannabis sp.</i>)	0,7	2,2	1,7	3,4	4,6	0,9	0,2	4
Благун (<i>Quercus frainetto</i>)	1,0	2,3	1,9	0,8	4,1	1,1	0,1	4
Липа (<i>Tilia sp.</i>)	0,8	1,5	2,2	0,6	7,7	1,1	0,5	4
Южна копривка (<i>Celtis australis</i>)	0,4	1,3	2,5	1,1	4,0	1,0	0,2	4
Папур (<i>Typha angustifolia</i>)	0,4	0,9	1,9	0,2	5,1	0,8	0,1	2
Благун (<i>Quercus frainetto</i>)	1,7	2,9	1,6	15,0	1,3	0,0	0,1	5
Обикновен габър (<i>Carpinus betulus</i>)	2,4	4,3	2,3	4,2	0,9	0,3	0,1	4
Маслодайна роза (<i>Rosa damascena</i>)	2,7	3,5	2,3	0,3	0,1	0,0	0,1	3
Цикория (<i>Cichorium intybus</i>)	3,2	4,0	2,3	0,3	0,1	0,0	0,1	3
Момкова сълза (<i>Polygonatum odoratum</i>)	1,0	2,3	2,0	0,6	1,0	0,0	0,1	3
Кукуряк (<i>Helleborus odorus</i>)	0,9	2,2	2,0	0,2	0,4	0,0	0,0	2
Благун (<i>Quercus frainetto</i>) и цер (<i>Q. cerris</i>)	3,8	4,1	1,9	18,6	1,2	0,3	0,0	5
Изворник (<i>Puccinellia distans</i>)	13,2	3,7	1,6	11,9	0,2	2,3	0,0	5

Съдържанията на Cu в местните почви е относително повишено в сравнение с почвите на света и на България и достига средно 42 mg/kg., като най-високи са стойностите за антропогенните почви в Стара Загора превишаващи 88 mg/kg. Повишените съдържания на мед в почвите на Сърнена гора (57,9 mg/kg) е свързано по всяка вероятност с литогеохимичните особености на планината, в която са известни медни рудни проявления в отделни нейни ареали. Разбира се, всеки растителен вид има в една или друга степен способност да натрупва мед, микроелемент важен за жизнените функции на растенията. В проучванията на съдържанията на зола на растения от различни региони на света концентрациите на Cu варират от 10 до 1500 mg/kg (Shacklette, Erdman, Harms, 1978 – 710).

Кобалтът е елемент, който се усвоява от растенията в различна степен в зависимост от неговите мобилни форми в почвата и в почвените разтвори. Получените стойности за концентрациите му са твърде различни и в някои от видовете не е установена

неговата концентрация, поне в количества, определяеми от апарата. Максимална концентрация е установена за изворника (*Puccinellia distans*) – 46,3 mg/kg. При същото растение са установени и рекордни съдържания и при други от изследваните елементи. Драката (*Paliurus spina-christi*) също се отличава с висока концентрация – 24 mg/kg.

Установено е, че при съдържание на кобалт в почвите, по-ниско от 5 mg/kg, се наблюдава недостатъчност в тревната маса на пасищата, което пречатства нормалното развитие на пасищните животни (Mitchell, 1974). Нашите проучвания показват, че в района на изследване това съдържание е 16 mg/kg за интегрална тревна проба, а в други наши проучвания из страната то варира и достига 12 mg/kg, което говори за достатъчна обезпеченост на тревните видове с важния за животните микроелемент (Пенин, 2013). Коефициентът на биологично поглъщане е относително нисък за повечето проучени видове както по отношение на местните почви, така и по отношение на почвено-геохимичния фон на басейна на р. Сазлийка (табл. 4 и 5).

Никелът е елемент, който има определено важно значение в растежа и функционирането на много растителни видове. Макар и неговият пренос и натрупване да се регулират от метаболизма на растенията, той се отличава с определена подвижност и по всяка вероятност се концентрира както в листата, така и в тъканите на растенията и семената (Halstead, Finn, MacLean, 1969 – 301; Welch, Cary, 1975 – 860). Този елемент се извлича сравнително лесно и бързо от почвите и дори когато се стигне до определена концентрация в растението, процеса на натрупване продължава в зависимост от съдържанието му в почвените разтвори, като за никела са от значение почвено-киселинните условия (pH). При намаление на киселинността натрупването в редица случаи намалява видимо, особено в семената на растенията (Bergow, Burridge, 1979 – 67).

Нашите проучвания показват концентрирането на този елемент в доста широк диапазон: от 2,9 mg/kg за маслодайната роза (*Rosa damascena*), до 199 mg/kg за липата (*Tilia sp.*), растяща върху антропогенизираны почви в гр. Стара Загора, където съдържанието на този елемент достига 21 mg/kg в почвената покривка. Коефициентът на биологично поглъщане именно при липата има максимални стойности ($A_x=8,7$), което е явно резултат от техногеохимичното въздействие на града.

За въздействието на хрома върху растенията има противоречиви схващания. Според някои автори той влияе положително върху метаболизма на растенията, особено неговите разтворими форми, намиращи се в почвите и почвените разтвори. Повечето почви съдържат този елемент, но достъпността му да растенията е ограничена (Кабата – Пендиас, Пендиас, 1989). В почвите на страната съдържанията на хром са около 70 mg/kg (Райков и др., 1984), а в басейна на р. Сазлийка тези концентрации са 39,8 mg/kg, максимални стойности достига в засолените почви на Старозагорското поле – 55,1 mg/kg. В растителните видове, обект на изследването, максимална концентрация е отбелязана за липата (*Tilia sp.*) – 15 mg/kg, докато някои видове не концентрират този микроелемент, например кукуряка (*Helleborus odorus*), изворника (*Puccinellia distans*) и интегралната листна проба от благауна (*Quercus frainetto*) и цера (*Q. cerris*).

Установява се, че този микроелемент се усвоява от видове, растящи в антропогенизирана среда, като за гр. Стара Загора е установено средно съдържание на проучените видове 10,5 mg/kg (табл. 2). Като цяло дървесните и храстовите видове концентрират в по-голяма степен Сг в сравнение с тревните видове.

Коефициентът на биологично поглъщане (A_x) е нисък за този елемент, както за съответните почви върху които растат проучените видове, така и за фона на басейна на реката. Единствено за липата е установена стойност на A_x съответно 0,6 и 0,5.

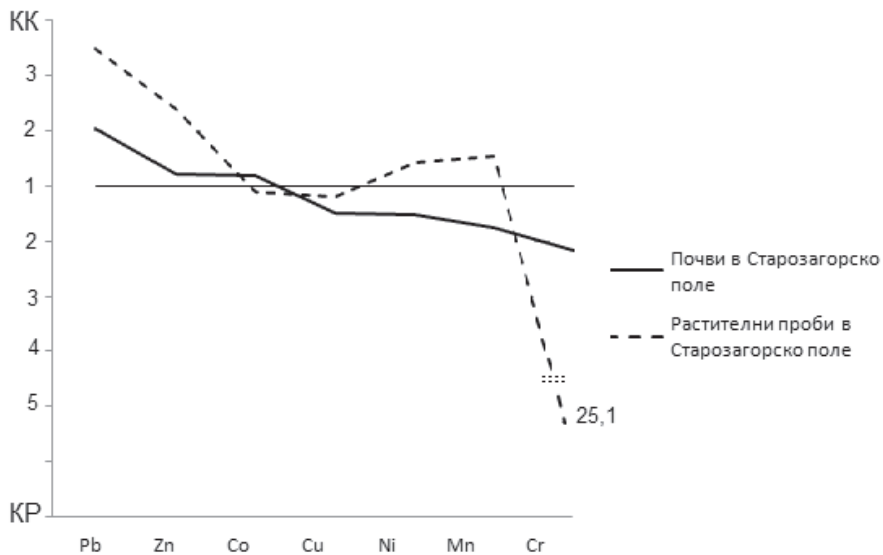
Известно е, че манганът е микроелемент, активно мигриращ и натрупващ се в растителните видове. Редица проучвания сочат, че този елемент мигрира във вид на Mn^{2+} . Най-високи стойности на натрупване са отбелязани в младите тъкани на растенията и зрелите листа, като са наблюдавани случаи на миграция на мангана от старите листа към младите пъпки и оформящи се листенца. Разпределението на мангана в растенията е нееднородно и зависи от характера на растителната тъкан и от фазите на вегетация. Но концентрациите на този елемент зависят и от неговото съдържание в почвите, върху които се развиват растения. Най-леснодостъпен е в кисели и често преовлажнени почви (Mengel, Kirkby, 1978 – 531). В изследваните растителни видове от басейна на р. Сазлийка максимална концентрация на Mn се наблюдава в изворника (11397 mg/kg), а най-ниска в папур (*Typha angustifolia*) – 115 mg/kg. От табл. 2 ясно личат повишените концентрации на дървесните и храстови видове (3378 mg/kg) в сравнение с тревните видове (1527 mg/kg). Относително високи са съдържанията в хидроморфните и субхидроморфните растителни видове – 2737 mg/kg.

Като цяло съдържанията на манган във водосборния басейна на Сазлийка са по-ниски от тези в литосферата и почвите на света и са около 650 mg/kg. Почвите в Сърнена гора съдържат повишени концентрации (735 mg/kg), дължащи се вероятно на специфичната литогеохимия и връзката на мангановите съединения с други съединения на тежки метали. По-високи са и концентрациите в почвите на гр. Стара Загора – 670 mg/kg. На този почвено-геохимичен фон коефициентът на биологично поглъщане достига 23 за интегралната листна проба от дъб и 16,2 за благуна (*Quercus frainetto*), растящи върху съответните почви, подобна е картината и за стойностите на A_x за същите видове по отношение на почвено-геохимичния фон на басейна на р. Сазлийка.

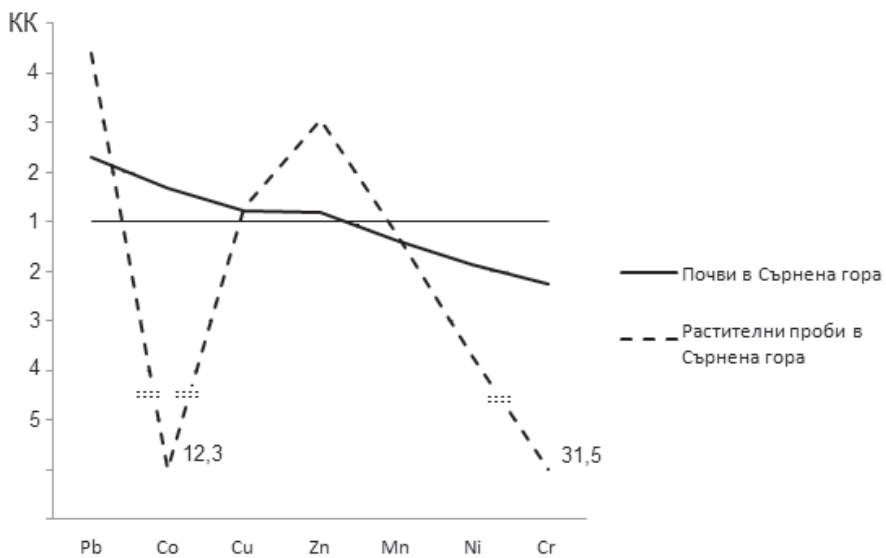
Серията от геохимични спектри (фиг. 1, 2, 3 и 4) позволяват да се направят сравнения за връзката между почвите на проучвания басейн и особеностите в концентрацията на избраната за изследване група от тежки метали. На фиг. 1 ясно личи асоциацията от натрупващи се елементи в растителната покривка на басейна, като цяло по отношение на почвено-геохимичния фон и общото съдържание на почвите в целия басейн на р. Сазлийка. Практически растителната покривка извлича всички тежки метали, с изключение на хрома.

От методическа гледна точка са построени геохимични спектри на връзката почва–растителност за различни основни райони от басейна на реката: Старозагорското поле, Сърнена гора в обсега на басейна и района на гр. Стара Загора, където антропогенното въздействие е особено силно.

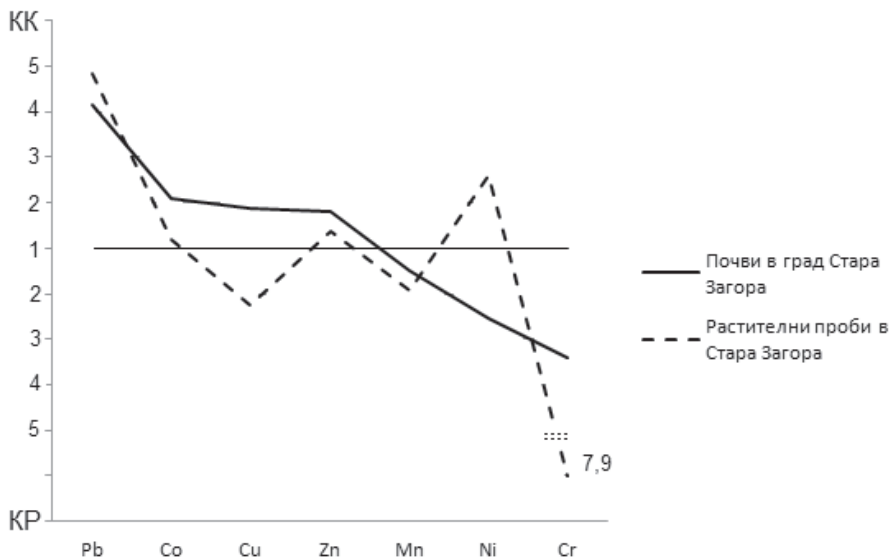
Геохимичният спектър на почвите и растителността в района на най-ниската част от басейна на реката – Старозагорското поле, показва наличие на натрупваща се в растенията асоциация от тежки метали, а именно: Pb, Zn, Mn и Ni. Тази асоциация има по-друг вид в геохимичния спектър на почвите и растенията от Сърнена гора: Pb, Zn, Cu, Mn, която е свързана предимно с литогеохимия и съответните ореоли на микроелементите в скалите. В растителността много слабо се захващат хром, кобалт и никел.



Фиг. 2. Геохимичен спектър на почвите и растителността от Старозагорското поле
 Fig. 2. Geochemical spectrum of soils and plants in the Starozagorsko Pole (Plain)



Фиг. 3. Геохимичен спектър на почвите и растителността от Сърнена гора
 Fig. 3. Geochemical spectrum of soils and plants in the Sarnena Gora Mountain



Фиг. 4. Геохимичен спектър на почвите и растителността от град Стара Загора

Fig. 4. Geochemical spectrum of soils and plants in the City of Stara Zagora

Получените данни за отделните видове позволяват да се направи анализ и определени изводи за отделните проучени растения. Коефициентът на биологично поглъщане A_x за отделните елементи варира в широки граници, но за отделните растения той показва в каква степен и коя е асоциацията от натрупващи се тежки метали със стойности на $A_x > 1$. В табл. 4 са отразени количеството на микроелементите със стойности над споменатите по отношение на съответната почва, която обитава растителния вид. С най-висока сума от микроелементи се отличава интегралната тревна проба, интегралната проба от листа на дъбова растителност: благун (*Quercus frainetto*) и цер (*Q. cerris*), драка (*Paliurus spina-christi*) и изворника (*Puccinellia distans*) с асоциация от 5 елемента, следват коноп (*Cannabis sp.*), благун (*Quercus frainetto*), обикновен габър (*Carpinus betulus*) с асоциация от 4 елемента и пр. Практически в липата (*Tilia sp.*) се натрупва само един елемент, превишаващ стойност 1 за A_x – а именно – никела.

В табл. 5 са отразени подобни резултати, като сравнението в нея е спрямо почвено-геохимичния фон на целия басейн. С най-голям брой натрупващи се микроелементи (5) са драката (*Paliurus spina-christi*), благуна (*Quercus frainetto*), интегралната листна проба от дъбова растителност и изворника. Най-малко натрупващи се тежки метали (2) се отбелязват за папура (*Typha angustifolia*) и кукуряка (*Helleborus odorus*). Явно посочените в двете таблици растителни видове благун, цер, драка, изворник и тревните видове, като цяло, имат индикационно значение при проучване на съдържанията на микроелементи на дадена територия.

ИЗВОДИ

Получените резултати от изследването на растителната покривка на басейна на р. Сазлийка включва както дървесни и храстови, така и тревни видове. Особено внимание е отделено на хидроморфните и субхидроморфните видове, които се срещат в редица райони на басейна. Анализът на резултатите позволява да се открие асоциацията от концентриращи се тежки метали както в отделните проучени видове, така и в растителната покривка, като цяло: Pb, Zn, Mn, Co, Mn и Ni. Единствено хромът само се захваща в определена степен от растителността. В отделните видове тази асоциация варира в определени граници, което е показано чрез използването на коефициента на биологично натрупване *A_x*. Това, от своя страна, дава представа за наличието на индикаторни видове, способни да поглъщат в средна и висока степен определени микроелементи. Като такива могат да се посочат: цер, благун, драка, габър, изворник и някои тревни видове. От биогеохимична гледна точка те могат да бъдат и разгледани като специфични биогеохимични бариери в ландшафтите от водосборния басейн на р. Сазлийка. Част от растителните видове обитават силно антропогенизираните райони, където техногеохимичното въздействие се отразява пряко върху концентрациите на тежки метали в почвената покривка и оттам – върху растителността. Получените резултати са част от направените от авторите биогеохимични изследвания в страната през последните няколко години. Те могат да бъдат основа за детайлни подобни проучвания от други фонове или антропогенизирани в определена степен райони у нас.

ЛИТЕРАТУРА

- Авесаломова, И. А. 1987. Геохимические показатели при изучение ландшафтов. М., МГУ.
- Айвазян, А. Д., Н. С. Касимов. 1979. О геохимической специализации растений. – *Вестн. МГУ*, сер. География 3.
- Алексеев, В. А. 2000. Экологическая геохимия. М., Логос.
- Алексеев, В. А., Л. П. Алексеев. 2003. Геохимические барьеры. Логос, М.
- Аржанова, В. С., П. В. Ельпатовский. 1990. Геохимия ландшафта и техногенез. Новосибирск, Наука.
- Башкин, В. Н., Н. С. Касимов. 2004. Биогеохимия. М., Научный мир.
- Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. 1988. М., Мир.
- Биогеохимическая индикация окружающей среды. 1988. – В: Тезисы докладов к Всесоюзному семинару, посвященному 125-летию со дня рождения В. И. Вернадского. Л., Наука.
- Бойченко, Е. А., Г. Н. Саенко, Т. М. Удальцова. 1972. Изменения соотношений металлов и эволюция растительной биосферы. Очерки современной геохимии и аналитической химии. М., Недра.
- Брукс, Р. Р. 1986. Биологические методы поисков полезных ископаемых. М., Недра.
- Вернадский, В. И. 1934. Очерки геохимии. Изд. 4, ОНТИ.
- Вернадский, В. В. 1983. Очерки геохимии. М., Наука.
- Вернадский, В. И. 1940. Биогеохимические очерки.
- Виноградов, А. П. 1949. Биохимические провинции, Тр. Юбилейной сессии, 100 лет рождения В. В. Докучаева, М.
- Виноградов, А. П. 1962. Среднее содержание элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. М., Геохимия.
- Глазковская, М. А. 1964. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М., МГУ.
- Глазковская, М. А. 1988. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М., Высшая школа.
- Добровольский, В. В. 1998. Основы биогеохимии. М., Высшая школа.
- Добровольский, В. В. 2009. Биогеохимия мировой суши. М., Научный мир.

- Касимов, Н. С. 1980. Геохимия ландшафтов зон разломов, М., МГУ.
- Кабата – Пендиас, А., Х. Пендиас. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях, М., Мир.
- Ковалевский, А. Л. 1991. Биогеохимия растений, Новосибирск, Наука.
- Ковда, В. А. 1985. Биогеохимия почвенного покрова, М., Наука.
- Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. 1989. М., Наука.
- Пенин, Р. 1997. Ръководство по геохимия на ландшафтите. С., УИ „Св. Климент Охридски“.
- Пенин, Р., А. Гиков, 1999. Фонови ландшафтно-геохимични изследвания в басейна на река Палакария. – *Год. СУ*, 2. 84.
- Пенин, Р., Д. Желев, Т. Стоилкова. 2013. Биогеохимични изследвания в Старозагорското поле. – В: Сб.доклади от конференцията, посветена на 150-годишнината от рождението на акад. Вернадски, С.
- Пенин, Р., 2000. Биогеохимичните и почвеногеохимичните изследвания, като основа за медикогеографски проучвания. – В: Сб.доклади от VI-ти национален конгрес по медицинска география, 5-6.10.2000 г., С.
- Пенин, Р. 1992. Биогеохимична специализация на ландшафтите в резервата „Острица“. – *Год. на СУ*, кн.2 – География, т.84.
- Пенин, Р. 2014. Биогеохимията и геохимията на ландшафтите в търсена на връзката между живата и нежива природа. – В: Сб. 40 години катедра ЛЮПС, С., Булвест 2000.
- Перельман, А. И. 1955. Очерки геохимии ландшафта. М., Географгиз.
- Перельман, А. И. 1975. Геохимия ландшафта. М., Высшая школа.
- Перельман, А. И., Н. С. Касимов. 1999. Геохимия ландшафта. М., Астрей-2000.
- Польнов, Б. Б. 1944. Валовой почвенный анализ и его толкование. – *Почвоведение*, № 10.
- Петрунина, Н. С. 1974. Геохимическая экология растений в провинциях с избыточным содержанием микроэлементов (Ni, Co, Cu, Mo, Pb, Zn). – В: Труды биогеохим. Лаборатории. М., Наука.
- Райков, Л. и др. 1984. Проблеми на замърсяването на почвата. С., Земиздат.
- Свинец в окружающей среде. 1987. М., Наука.
- Справочник по геохимии. 1990. М., Наука.
- Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы. – *Тр. Биогеохимической лаборатории*. 2003. т. 24, М., Наука.
- Фортесько, Д. 1985. Геохимия окружающей среды, М., Прогресс.
- Юркевич, И. Д. и др. 1988. Биогеохимические особенности и уровни аккумуляции тяжелых металлов как показатели загрязнения лесных экосистем. – В: Биогеохимическая индикация окружающей среды. Л., Наука.
- Berrow, M. L., Buridge J. C. 1979. Sources and distribution of trace elements in soils and related crops, – In: Proc. Int. Conf. on Management and Control of Heavy Metals in Environment, CEP Consultants Ltd., Edinburg, U.K., p. 304.
- Bergman, W., A. Cumakov. 1977. Diagnosis of nutrient requirement by plants. Jena, G. Fisher Verlag, and Bratislava, Priroda.
- Bowen, H. J. M. 1979. Environmental chemistry of the elements, N.Y, Academic Press.
- Freedman, B., Hutchinson T. C. 1980. Pollutant inputs from the atmosphere and accumulations in soils and vegetation near a nickel-copper smelter at Sudbury, Ontario, Canada. *Can. J. Bot.* 58.
- Halstead R. L., Finn B. J., MacLean A. J., 1969. Extractability of nickel added to soils and its concentration in plants. – *Can. J. Soil Sci.*, 49.
- Hughes, M. K., Lepp, N. W., Phipps, D. A. 1980. Aerial heavy metal pollution and terrestrial ecosystems. – *Adv. Ecol. Res.*, Vol. 11.
- 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. Bern, International Potash Institute.
- Mitchell, R. L. 1972. Cobalt in soil and its uptake by plants, paper presented at 9th Simposio Int. di Agrochimica, Punta Ala, Aggentina, Oct. 2, 521.
- Norrish, K. 1975. The geochemistry and mineralogy of trace elements. – In: Trace elements in soil-plant-animal systems, N. Y.
- Penin R., T. Stoilkova. 2010 Landscape and biogeochemical investigations in Aton peninsula (Mount Atos). – In: Sixth International Conference: Global changes and regional development, 16-17 April 2010, Sofia, Bulgaria.
- Shacklette H. T., J. A. Erdman, T. F. Harms. 1978. Toxicity of heavy Metals in the environments, NY, M. Dekker.
- Welch R. M., E. E. Cary. 1975. Concentration of chromium, nickel and vanadium in plant materials, – *J. Agric. Food Chem.* 23.

Постъпила април 2015 г.