

ЛАНДШАФТНО – ГЕОХИМИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОСТРОВ ТАСОС

Румен Пенин¹

<https://doi.org/10.35101/prg-2021.3-4.4>

На основата на проведените теренни и лабораторни изследвания през 2016 г. в 13 проби от почви и дънни отложения (седименти) и 6 растителни проби на о-в Тасос е направен анализ и интерпретация на съдържанието на микроелементите Cu, Zn, Pb, Mn, Ni, Co, Cr и тяхното диференциране. Биогеохимичният анализ е разгледан в публикация в настоящия брой. Разкриват се природните условия на острова и факторите, влияещи върху формирането на микроелементния състав на почвите и седиментите. Методологичната основа на геохимията на ландшафтите е свързана със системния подход, който се изразява във вид на взаимосвързан анализ на химичния състав на компонентите на ландшафта и връзките между самите ландшафти. Открояват се асоциации от тежки метали, натрупващи или разсейващи се в проучените обекти. С най-високи стойности на концентрация в почвите е асоциация от тежки метали Ni, Cr, Co и Pb, докато Cu и Mn имат близки стойности до тези на континента и фоните територии в България. В дънните седименти по-високи концентрации се установяват за асоциацията Pb, Ni и Co, докато останалите елементи са с по-ниски стойности на коефициента на концентрация. Направени са сравнения с други проучени в ландшафтно-геохимично отношение територии, разположени относително близко до остров Тасос – п-в Атон, части от Родопите, Боздаг и Славянка. Получените данни представляват основа за провеждането на системни геоекологични наблюдения на острова и организирането на геохимичен мониторинг върху приоритетните за изследване в екологично отношение тежки метали.

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

LANDSCAPE-GEOCHEMICAL RESEARCH OF THASOS ISLAND

Rumen Penin

Abstract: Landscapes geochemistry is a priority scientific field in physical geography, studying the behavior, migration and differentiation of chemical elements and compounds,

¹ СУ „Св. Климент Охридски“, Геолого-географски факултет, катедра Ландшафтознание и опазване на природната среда; rpenin@abv.bg

both in natural and in anthropogenized to varying degrees natural land and aquatic complexes. The establishment of the contents and the microelement composition in the soils and bottom sediments is an important part of the research in the field of geoecological monitoring. These two natural components are particularly informative, as they accumulate the result of geochemical processes in the natural complexes of a given area. In recent decades, a number of landscape and geochemical studies have been conducted in areas close to Thassos island in natural conditions - the Rhodope Mountains, the Slavyanka Mountain, Belasitsa, Bozdag, Mount Athos, etc. The contents of association of heavy metals (Cu, Pb, Co, Zn, Mn, Ni, Cr) in soils, bottom sediments, vegetation were studied. This is why our scientific interests are also directed to Thassos Island, where field research and collected material for geochemical research were conducted. The article analyzes and interprets the obtained geochemical results from field and laboratory research and comparisons are made with soils and bottom sediments in other spatially close objects. Associations of concentrating and dispersing microelements were found in the two studied sites. Such studies provide a basis for conducting systematic geochemical observations in the framework of environmental monitoring.

Keywords: heavy metals, landscapes, soils, bottom sediments, environmental monitoring.

УВОД

Геохимията на ландшафтите е приоритетно научно направление във физическата география, изследващо поведението, миграцията и диференциацията на химичните елементи и съединения, както в естествени, така и в антропогенизирани в различна степен природни наземни и аквални комплекси. Установяването на съдържанията и микроелементния състав в почвите и дънните отложения (седименти) е важна част от научните изследвания в областта на геоecологичния мониторинг. Тези два природни компонента са особено информативни, тъй като в тях се акумулира резултатът от геохимичните процеси в природните комплекси на дадена територия или акватория. През последните десетилетия са проведени редица ландшафтно-геохимични проучвания в райони близки по природни условия до остров Тасос – Родопите, планините Славянка, Беласица, Боздаг, п-в Атон и др. Проучени са съдържанията на асоциация от тежки метали (Cu, Pb, Co, Zn, Mn, Ni, Cr) в почвите, дънните отложения, растителността. Това е причината научните ни интереси да се насочат и към о-в Тасос, където са проведени теренни изследвания и събран материал за геохимични анализи.

Целта на ландшафтно-геохимичното проучване е да се съберат проби от представителни за острова ландшафти – от почви, дънни отложения (насаги, седименти) и проби от растителни видове, характерни за острова, и да се направи анализ и интерпретация на получените резултати. Изследването цели да посочи и асоциациите от натрупващи и разсейващи се микроелементи в двата проучени обекта.

В статията се анализират и интерпретират получените геохимични резултати от полевите и лабораторните изследвания и са направени сравнения с почвите и дънните седименти в други близки в пространствено отношение обекти. Подобни проучвания дават основание за провеждането на системни геохимични наблюдения в рамките на мониторинга на природната среда (Ландшафтно-геохимические..., 1989).

ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Остров Тасос е разположен в северната част на Егейско море на 6,7 km югозападно от устието на р. Места. Площта му е 380,1 km² и той е дванадесетият по площ остров на Гърция. Прието е да се счита, че планините на острова са част от стария Рило-Родопски масив.

Островът е изграден основно от метаморфни скали – гнайси, шисти и мрамори, подобно на южните части на Рило-Родопския масив. Скалите са претърпели няколко стадии на регионален метаморфизъм. На места се разкрива седиментна покривка от конгломерати, пясъчници и глинести пясъци (Higgins, 1996).

Има исторически сведения за добив на охра – природен пигмент с жълти, канелени и червенокафяви нюанси, получаван от хидрати на железни оксиди с примеси от глина. Използва се за получаване на различни видове багрила. Според археолозите първите изкопани ями и тунелни проходи за добива са от дълбока древност в района на гр. Лименария (местност Tzines) и според редица учени това са най-старите европейски подземни мини. По времето на траките са добивани благородни метали, през VII в. пр.н.е. мини са разработени от финикийци, а в IV в. пр.н.е. от гърците и по-късно от римляните. Проучени са следи от добив на злато, сребро, мед, олово. Подобни големи за времето си мини е имало и в съседната на острова планина Кушница (Георгиев, 1953).

Минни компании добиват оловно-цинкови и железни руди доста по-късно – от началото на XX в. до 1964 г., когато добивът е прекратен. До наши дни на острова функционират кариерите за добив на качествен мрамор, използван в античността за строителството на много древни храмове и за скулптури.

Най-висок е вр. Ипсаро (1203 m), а други по-високи и отчетливо изпъкващи са върховете Тумба (1123 m), Профитис Илияс (1108 m), Каменос Врахос (1078 m) и др. Бреговата линия на острова е около 106 km (по други източници 100 km).

Основните почвени типове са каналени почви (Chromic cambisols), както и плитките почви (Lertosols) – подтип литосоли (Lithic Leptosols), панкери (Umbric Leptosols) и рендзини, или хумусно-карбонатни почви (Rendzic Leptosols LPk). Ареалите им са разпокъсани, като на много места излиза основната почвообразуваща скала.

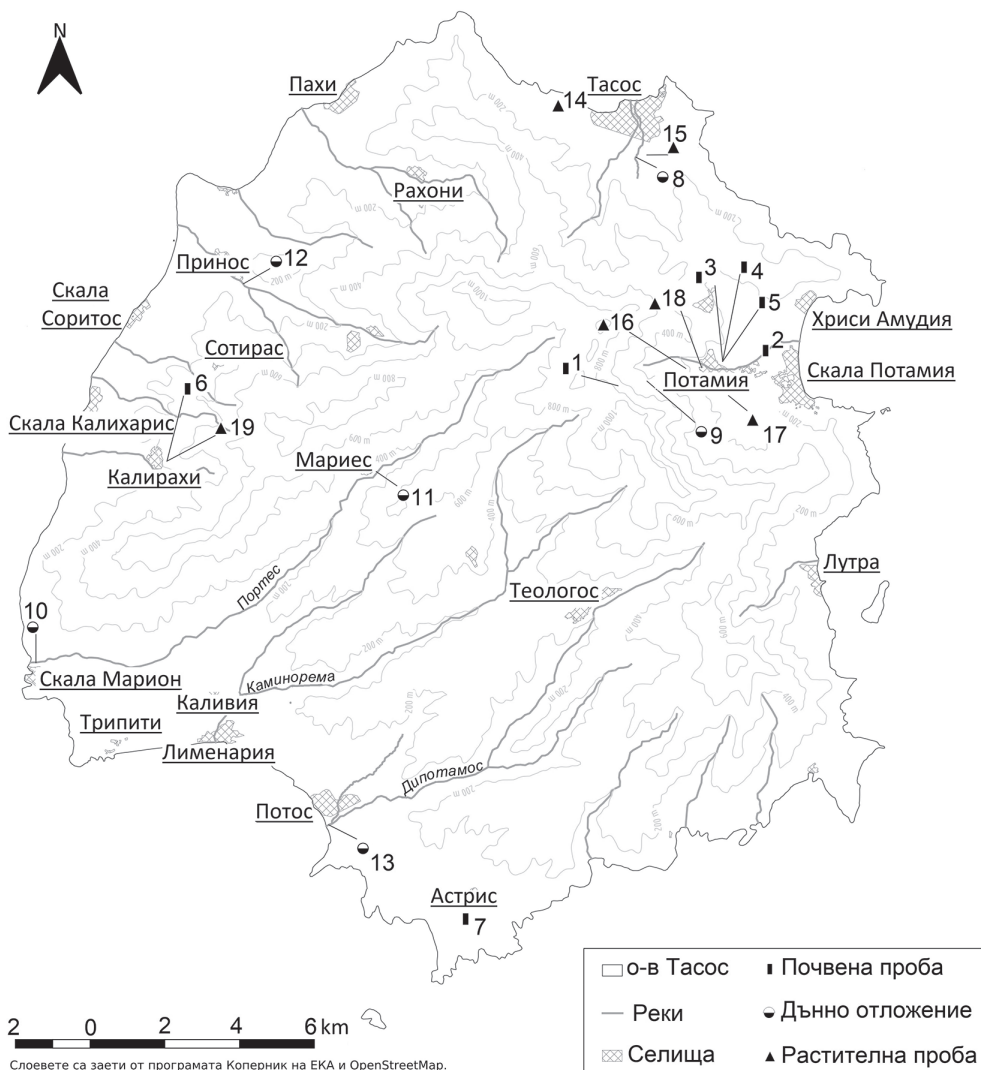
Разпространени са маквисите (фригана) с фрагменти от алепски бор (*Pinus halepensis*) и вечнозелен дъб (*Quercus coccifera*), лаврово дърво (*Laurus nobilis*), бясно дърво (род *Daphne*), пирен (род *Erica*), както и няколко вида клен, ясен, липа, рододендрон, хвойна и др. (Исаченко, Шляпников, 1989).

Тук на неголеми ареали са разпространени още калабрийски бор (*Pinus brutia* Ten.), пиния (*Pinus pinea*), източен чинар (*Platanus orientalis*), източна кумарка или ягодово дърво (*Arbutus andrachne*), обикновен или средиземноморски кипарис (*Cupressus sempervirens*), сладък кестен (*Castanea sativa*), каменен дъб (*Quercus ilex*), олеандър, или зокум (*Nerium oleander*), див рошков (*Cersis siliquastrum*), бадемолистна круша (*Pyrus amigdalifolis*), кукуч (*Pistacia terebintus*), лавдан (*Cistus* sp.), чемшир (*Buxus sempervirens*), вечнозеления зърнастец (*Rhamnus alaternus*), лавролистна капина (*Viburnum tinus*), грипа (*Phillyrea latifolia*), скрипка (*Smilax aspera*), бръшлян (*Hedera helix*), циклама (*Cyclamen* sp.), някои орхидеи от салепови (*Orchis*) и пчелица (*Ophrys*) и др.

Разпространена е мащерка, риган, лайка и др. (Груев, Кузманов, 1994; Асенов, 2001; Воронов, Дроздов, 2004). Силните пожари през 90-те години на ХХ в. нанасят сериозни щети на растителната покривка на острова.

От земеделските култури преобладават насажденията от маслини, бадеми, орехи, черници, лозя, смокини, нарове, праскови и др. Климатът на острова е субтропичен със средна год. t над $16\text{ }^{\circ}\text{C}$, а средната температура през август е над $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Валежите са около 550 mm с есенно-зимен максимум.

Целта на теренното ландшафтно-геохимично проучване е да се съберат проби от характерни за острова почви, дънни отложения (наслаги, седименти) и растителни видове (фиг.1).



Фиг. 1. Карта с местоположението на събраните проби за ландшафтно-геохимичен анализ – почви, дънни отложения и растителност

МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

По време на теренните проучвания през м. септември 2016 г. са събрани 7 почвени, 6 проби от дънни отложения и 6 проби от растителни видове. Проучването обхваща и разкриване на радиалната диференциация на микроелементите в представителен почвен профил, както и няколко контролни проби, предимно в район с относително слабо антропогенно въздействие.

Геохимичният анализ е направен по стандартна методика, като пробите от почвите и дънните отложения са изсушени, квартовани, стрити в порцеланов хапан и пресети през сита с размер $63 \mu\text{m}$ (за анализ на микроелементния им състав) и 2mm (за анализ на рН). Анализирани са общите съдържания на микроелементите Cu, Pb, Co, Zn, Mn, Ni, Cr. Химичните анализи на почвените проби и тези на дънните отложения са извършени в Лабораторията по геохимия на ГГФ на СУ след изгаряне при $500 \text{ }^\circ\text{C}$ и пълно последователно разтваряне със смес от киселините HClO_4 , HF и HCl.

Методологичната основа на геохимията на ландшафтите е свързана със системния подход (Перельман, 1975; Пенин, 1989). Той се изразява във вид на взаимно свързан анализ на химичния състав на компонентите на ландшафта и връзките между самите ландшафти. Почвата има много важно място в подобни изследвания с комплексен характер и затова я наричат „център“ или „огледало“ на ландшафта, тъй като отразява всички процеси, протичащи в него. Аналогична е ролята на дънните отложения в аквалните комплекси. За анализа на резултатите от опробването на природните обекти се използват различни показатели за определяне на връзките и съотношенията между проучените химични елементи в природните обекти.

Съдържанието на химичните елементи в различните типове скали, както и в другите природни компоненти на природната среда, обикновено се отличава от кларка в литосферата. Разликата се изразява количествено чрез понятията „кларк на концентрация“ (КК) и „кларк на разсейване“ (КР). Те представляват отношението между съдържанието на даден елемент в определен природен обект (почвен хоризонт, изветрителна кора, дънно отложение, растителност, повърхностни води и др.) – C_i , и кларка на същия елемент в литосферата – K . Когато C_i е с високи стойности, се използва „кларк на концентрация“ (КК), чиято величина винаги е по-голяма от 1 ($\text{КК} \Rightarrow 1$), и ако $\text{КК} = 1$, то съдържанието на елемента в обекта (C_i) е равно на съдържанието му в литосферата. Когато C_i е с ниски стойности, се използва показателят „кларк на разсейване“ (КР). Той показва колко пъти кларкът (K) превишава съдържанието на елемента в изследвания обект (C_i): $\text{КР} = >1$.

Показателите КК и КР са използвани при изготвянето на интерпретацията и анализа на геохимичните спектри на почвите, дънните отложения и растителността.

За разкриване и анализиране на радиалната (вертикална) диференциация на тежките метали в почвения профил се използва т.нар. коефициент R , който отразява разпределението на елементите във вертикалния профил на почвите (Авессаломова, 1987). Той показва съотношението между съдържанията на микроелементите в почвените хоризонти по отношение на съдържанията им в най-ниско разположения хоризонт или основната скала, и се приема за 1. При

стойности на $R > 1$ се наблюдава по-висока концентрация на елемента в съответния хоризонт спрямо най-ниско разположения и обратно – при $R < 1$, микроелементът само се захваща (присъства) в определена степен.

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

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

ПОЧВЕНО-ГЕОХИМИЧНИ ПРОУЧВАНИЯ

Почвите на острова имат общи генетични и геохимични черти с почвената покривка на съседните крайбрежни територии както в близост до морето, така и на по-вътрешни ареали с по-висока надморска височина. Общите черти на литогеохимията и близките климатични показатели определят спецификата на почвообразуващите процеси. На места почвената покривка отсъства и се откривава почвообразуващата скала. Латералните геохимични потоци влияят допълнително върху формирането на почвите, особено тези, разположени по склоновете и подножието на планинските територии. Събраните почвени проби са от канелени горски почви, литосоли, ранкери и рендзини, разположени на различни места на острова (фиг. 1). Почвеното разнообразие се дължи и на относително високото съдържание на литомаса в почвения профил, диференцирана специфично за всеки почвен тип.

Разположението на местата на събирането на пробите и получените резултати от геохимичния анализ за съдържанията на микроелементи в почвите на острова са отразени в табл. 1.

За средното съдържание на всеки микроелемент представителна се явява медианата (Me) на статистическата редица. От методична гледна точка това е оправдано за използването 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. Според авторите на Геохимичния атлас на Европа (Tarvainen, Reeder, Albanese, 2005) медианата на статистическата редица от геохимични данни отразява най-добре типичните концентрации, отколкото средната аритметична стойност.

Ще отбележим, че получените резултати показват по-големи разлики между съдържанията на микроелементи в почвения профил при с. Потамия и на останалите точки на пробонабиране. Това се има предвид при интерпретирането на данните при геохимичния анализ на почвите и дънните отложения и биогеохимичната специализация на изследваните растителни видове. Подобни разлики се обясняват преди всичко с местните литогеохимични аномалии, свързани обикновено с наличието на орудявания, които се проявяват като геохимичен ореол на земната повърхност, влияещ върху ландшафтните компоненти.

Почвена проба 7 е събрана от рендзина (0-10 cm) върху карбонатна основа и геохимичните условия за миграция и диференциация на микроелементите са различни от тези на останалите проучени проби. Тук скалният състав и пови-

Таблица 1

Съдържание на тежки метали (mg/kg) в почвите и дънните отложения (Д О)
от остров Тасос

№	Почвена проба	Местоположение	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
1	Подножие на вр. Ипсарио – 750 m, литосол, 0-8 cm	40° 42' 41" N 24° 42' 02" E	5,2	76	82,1	785	31,2	36,4	38,5
2	Профил 1. с. Потамия – с. Хриси Акти, канелена почва: А хор. 0-5 cm	40° 43' 05" N 24° 44' 48" E	25,1	120,7	117,9	2550	293,7	62,8	389
3	АВ хор. 20-25 cm	40° 43' 02" N 24° 44' 01" E	23,3	252,3	68,9	2594	306	67,9	403,3
4	В хор. 50-60 cm	40° 43' 02" N 24° 44' 01" E	25,8	98,2	45,5	2006	320,5	67,2	417,7
5	В-С хор. 110-120 cm	40° 43' 02" N 24° 44' 01" E	25,4	145,6	46,9	1642	292,2	59,6	368,4
6	Над с. Мариес, ранкер 0-10 cm	40° 41' 36" N 24° 33' 29" E	8,9	141,3	42,5	558	39,6	34,2	42,7
7	Южно от с. Астрида, рендзина 0-10 cm	40°35'07" N 24°39'04" E	12,8	87,9	27,9	403	14,8	17,4	37,2
	Средноаритметично (почви)		18,7	131,7	61,7	1505	185,4	49,3	242,4
	Me		23	121	47	1642	295	60	368
8	Д О. Пресъхнал поток от мраморна кариера – над Лименас	40°45'57" N 24°42'35" E	2,3	32,8	43,5	121,7	23,8	14,7	27,1
9	Д О. Пресъхнало русло на поток под вр. Ипсарио	40°42'45" N 24°42'35" E	16,0	25,6	21,8	247,3	31,7	11,2	12,6
10	Д О. Реката с. Скала Марион преди пясъчната коса	40° 38 ,42" N 24° 31' 00" E	5,2	159,3	69,2	363	27,6	36,8	42,4
11	Д О. Река през с. Мариес над селото, фина фракция	40° 41' 27" N 24° 37' 27" E	4,3	109	34,7	477	21,3	27,2	31,5
12	Д О. Поток над с. Принос, фина фракция	40° 44' 09" N 24° 34' 56" E	8,4	86,5	44,8	421	35,8	29,2	31,9
13	Д О. Пресъхнала река до с. Потос	40° 36' 22" N 24° 36' 33" E	12,3	94,2	32,6	568	43,8	38,3	62,1
	Средноаритметично (Д О)		8,8	84,5	41,1	366,3	30,7	26,2	34,6
	Me		6,5	90,5	39,5	392	31	28	32

шената алкалност определят почвообразуващите условия и концентрациите на микроелементите. Анализът на данните за тежките метали показва, че практически всички са с по-ниски съдържания в сравнение с почвите, разположени върху кисели метаморфни скали. Най-ниски са стойностите на асоциацията от микроелементите Ni, Co и Mn.

Данните от съдържанията на тежки метали в почвите от острова са съпоставими с други наши изследвания в съседни територии (Славянка, Боздаг, п-в Атон), както и с тези в литосферата, почвите на света, почвите на Европа и почвите на България – общо и във фоновите територии (табл.2). Те са основа за изготвяне на геохимични спектри, с помощта на които се открояват особеностите на почвената покривка в микроелементно отношение в сравнение с останалите обекти (фиг. 2, 3 и 4). При търсенето на връзките с почвообразуващите скали са използвани и данни за съдържанията на тежки метали в преобладаващите метаморфни скали (Куйкин и др., 2001). Това позволява да се разкрие по-добре миграцията и съответно радиалната диференциация на микроелементите в почвения профил.

Анализът на фиг. 2. показва по-високите концентрации на всички тежки метали в почвите на острова в сравнение с тези от почвите на Европа и фоновите територии на България, с изключение на цинка. Асоциацията от елементите Ni, Cr, Co и Pb е с най-високи стойности на КК, докато медта и мангана имат близки стойности до тези на сравняемите обекти. Като цяло, концентрациите

Таблица 2

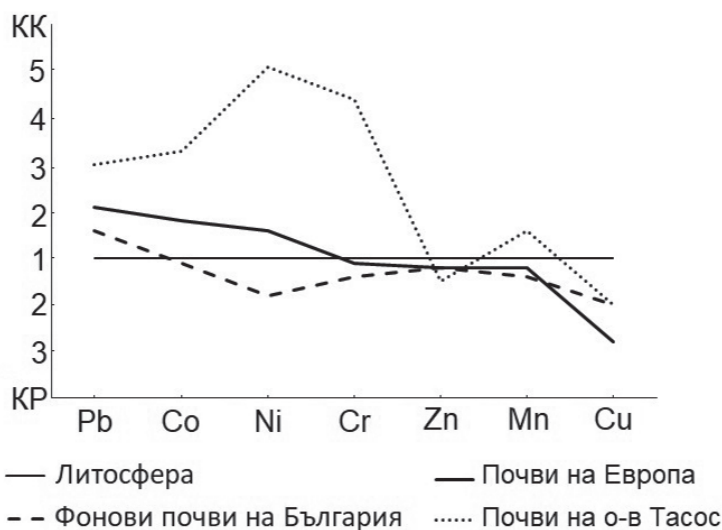
Общо съдържание на тежки метали (в ppm=mg/kg) в различни природни обекти

Обект	Микроелемент						
	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Литосфера ¹	47	83	16	1000	58	18	83
Почви на света ²	20	50	10	850	40	8	100
Почви на Европа ³	17	68	33	810	37	10	95
Почви на България ⁴	30	75	35	1000	36	20	70
Фоновите почви на България ⁵	24	67	25	695	32	16	60
Почви на Атон ⁶	36	162	50	911	99	63	173
Почви на Боздаг ⁷	30	178	63	573	53	13	101
Почви на Славянка ⁸	27	225	92	564	75	43	91
Почви о-в Тасос	23	121	47	1642	295	60	368
Кисели метаморфни скали (България) ⁹	20	50	20	287	10	11	34

¹ (Виноградов, 1962); ² (Виноградов, 1957); ³ (Salminen, 2005); ⁴ (Мирчев, 1971); ⁵ (Пенин, 2003); Почви на Атон⁶ (Пенин, Желев, 2011); ⁷ (Пенин и др., 2014); ⁸ (Пенин, Китев, 2014); ⁹ (Куйкин и др., 2001).

на микроелементите във фоновите райони на България са по-ниски от тези в почвите на острова.

На фиг. 3. ясно се установява, че концентрациите на микроелементите в почвите на острова са по-високи от тези в метаморфните скали у нас. Най-високи са стойностите на КК за хром и никел. Те се отличават и по отношение на



Фиг. 2. Геохимичен спектър на микроелементите в литосферата, почвите на Европа, почвите във фоновы райони на България и почвите на о-в Тасос



Фиг. 3. Геохимичен спектър на микроелементите в литосферата, киселите метаморфни скали и почвите на о-в Тасос

общото съдържание, като никелът има стойност 295 mg/kg, а хромът – 368 mg/kg, което превишава неколкостранно (7-8 пъти) съдържанията им в литосферата.

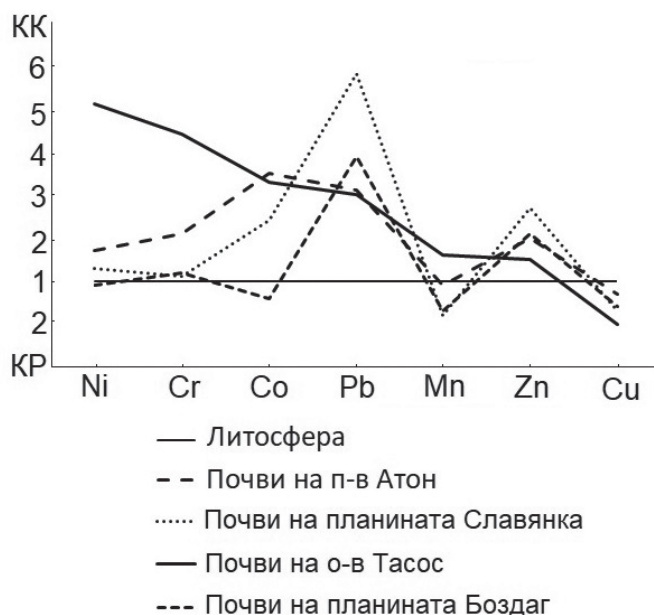
Нагрупуването на тези елементи в почвената покривка се дължи на различни фактори, сред които са местните литогеохимични особености и почвообразователните процеси. В миграцията на тези микроелементи влияние оказват геохимичните бариери, както и стойности на рН. Никелът има сходни черти на разпространение в литосферата и в почвите с кобалта и желязото. При процесите на изветряне никелът лесно се освобождава и впоследствие се утаява заедно с оксидите на желязото и мангана. Трябва да се има предвид, че двувалентният никел Ni^{2+} проявява стабилност и сравнително лесно мигрира във водни разтвори на големи разстояния. От тях никелът може да попадне в почвената и растителната маса, където се фиксира в по-стабилни форми и се натрупва. Определено влияние върху преразпределението му играе и глинестата фракция.

В повърхностните хоризонти на почвата този микроелемент присъства основно в органични форми, подобно на мангана и желязото (Bloomfield, 1981; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Norrish, 1975). Такава ситуация се наблюдава в горните хоризонти на почвения профил при с. Потамия, където общото съдържание на никел достига около 300 mg/kg. В останалите почвени проби концентрациите му са относително ниски, което дава основание да се предположи местно литогеохимично влияние върху общото съдържание на този елемент.

Аналогично е положението и с повишените концентрации на хрома, достигаш най-високи общи съдържания именно в този профил. В известна степен това се отнася и за мангана, кобалта и цинка. Всички тези микроелементи имат сходни черти на концентрация, което най-вероятно се дължи на връзките им с оксидите на желязото и мангана. Както бе отбелязано, още от древни времена тук са добивани железни руди, които в някои случаи са в асоциация с манганови и оловно-цинкови орудявания.

При разкриването на регионалните геохимични черти на ландшафтите се вземат под внимание, от една страна, съставът на почвообразуващите скали, а от друга, степента на сходство в почвообразователните процеси. При това изследване е направено сравнение с близки в пространствено отношение територии – п-в Атон и планините Боздаг и Славянка. Отчитат се разликите в литоложките особености, които пряко влияят върху съдържанията на тежките метали (Пенин и др., 2014; Пенин, Желев, 2011; Пенин, Китев, 2016).

При анализа на фиг. 4 се откриват някои сходства, но и различия в микроелементния състав на сравняемите обекти. Ясно се открояват повишените концентрации на никел и хром в почвите на острова в сравнение с тези в другите обекти. В известна степен същото се отнася и за мангана. По-ниските концентрации на микроелементите в Атон, Славянка и Боздаг в голяма степен е свързано и с различията в почвообразуващите скали. Сравнително големи ареали от тях са заети от карбонатни скали и почвообразуващите процеси протичат и при други алкално-киселинни условия. Те от своя страна влияят пряко върху увеличаването или намаляването на интензивността на миграционните способности на тежките метали и тяхната диференциация не само в почвените профили, но и в целия ландшафт. Асоциацията от микроелементите Zn, Cu и Pb е с относително по-ниски концентрации от тези в сравняемите обекти от п-в Атон и двете планини.



Фиг. 4. Геохимичен спектър на микроелементите в литосферата, почвите на п-в Атон, почвите на планината Славянка, планината Боздаг и почвите на о-в Тасос

В обобщен вид се установява наличие на почвено-геохимична аномалия с преобладаване на повишени съдържания на Ni, Cr и в известна степен на Co. Това отличава почвите на острова от тези на останалите сравняеми обекти.

Разкриването на *радиалната диференциация* на микроелементите в избран почвен профил на канелена горска почва в района на Потамия показва спецификата на разпределението им в дълбочина. Коефициентът R варира в широки граници за отделните тежки метали. Направена е съпоставка на съдържанията в почвените хоризонти на профила, от една страна, по отношение на скалната основа (кисели метаморфни скали), а от друга, по отношение към най-ниско разположения почвен хоризонт.

Таблица 3

Стойности на коефициента на радиална диференциация (R) по отношение на почвообразуващата скала

Почвен хоризонт	Стойност на R						
	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
А хор. 0-5 cm	1,3	2,4	5,9	8,9	2,9	5,7	11,4
AB хор. 20-25 cm	1,2	5,0	3,5	9,0	3,1	6,2	11,9
В хор. 50-60 cm	1,3	2,0	2,3	7,0	3,2	6,1	12,3
В-С хор. 110-120 cm	1,3	2,9	2,4	5,7	2,9	5,4	10,8
Метаморфни скали	1	1	1	1	1	1	1

Като цяло, стойностите на този коефициент показват относително равномерно разпределение на микроелементите в почвения профил по хоризонти. Това се отнася особено за асоциацията от елементи: Cu, Ni, Co и Cr.

Цинкът, оловото и манганът имат по-ясна диференциация за някои от хоризонтите. Например, за Pb в А хор. R=5,9, докато в ВС хор. R=2,4. При Mn в ВС хор. R=5,7, а в АВ хор. R=9,0. С най-високи стойности на R се отличават елементите от асоциацията Cr, Mn и Co, а най-ниски са стойностите за Cu, отличаваща се с много ниска степен на диференциация (R=1,2-1,3).

Трябва да отбележим, че отчитането на съдържанията на тежки метали в почвообразуващите скали има относителен характер, доколкото това са обобщени данни за кисели метаморфни скали, отнасящи се до проучвания в страната ни. Специфичната литогеохимия на о-в Тасос по всяка вероятност се отличава от средните данни за тези скали в България и това се отразява в разпределението на микроелементите в ландшафтите на острова. Разбира се, отчитат се както особеностите на почвообразуващите процеси, така и на възникващите в почвения профил геохимични бариери, влияещи върху интензивността на миграция на тежките метали.

Ето защо е изчислен и коефициент R за най-ниско разположения почвен хоризонт (в случая ВС), който има пряка връзка с почвообразуващите скали (табл. 3).

Стойностите на R показват твърде сходни резултати, които варират от 0,7 (за В хор. на цинка) до 2,5 (за А хор. на оловото). Това показва слаба диференциация на микроелементите в профила. С относително по-високи стойности на R в горните три хоризонта са оловото и манганът. За концентрациите на олово в повърхностните хоризонти на почвите обикноно се свързва с техногеохимични влияния. На острова няма такива ясно изразени източници и като цяло може да се приеме, че концентрациите на тежките метали имат естествен фонов характер, а преразпределението на всеки елемент в почвения профил е резултат от специфичните почвообразователни процеси. В почви с подобна характеристика средните съдържания на оловото достигат до около 70 mg /kg (Davies, 1977). Известно е натрупването на мангана в по-горните почвени хоризонти, което се дължи на фиксацията му от органическите вещества (Kabata-Pendias, 2010). В случая се наблюдава подобно радиално разпределение на микроелемента в А и АВ хоризонт (R=1,6).

Таблица 4

Стойности на коефициента на радиална диференциация (R) по отношение на най-дълбоко разположения хоризонт

Почвен хоризонт	Стойност на R						
	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
А хор. 0-5 cm	1,0	0,8	2,5	1,6	1,0	1,0	1,1
АВ хор. 20-25 cm	0,9	1,7	1,5	1,6	1,1	1,1	1,1
В хор. 50-60 cm	1,1	0,7	0,9	1,2	1,1	1,1	1,1
В-С хор. 110-120 cm	1	1	1	1	1	1	1

Получените данни за диференциацията на тежките метали в профил на канелена горска почва са съпоставими с редица други проучвания на геохимичните особености на този тип почва (Пенин, 1989; Желев, 2016, Желев, 2016-а, и др.).

ДЪННИ СЕДИМЕНТИ

Дънните отложения са своеобразен индикатор на цялостното геохимично състояние на ландшафтите в даден водосборен басейн. Това е причината през последните десетилетия да се засили научният интерес към тяхното изследване и това природобива все по-важно значение за разкриване както на естествените природни процеси, така и за установяване на степента на антропогенно въздействие върху околната среда (Батоян, Зайцев, 1985; Линник, Набиванец, 1986; Методически ..., 1982; Касимов, Пенин, 1991; Перельман, Касимов, 1999; Касимов 2013; Коцев, 2003; Nikolova, 2020 и др.).

Предварителните проучвания на състоянието на природните компоненти и природните комплекси дават възможност да се оцени и интерпретира и същността и геохимичният състав на дънните седименти в различни природни условия.

Дънните отложения на о-в Тасос имат специфични условия на образуване, свързани с характера на скалната основа, релефа, растителната покривка и в голяма степен с климатичните особености на острова.

Антропогенизацията на о-в Тасос е започнала в дълбока древност и в наши дни съвременните ландшафти имат черти, повлияни от тази силна намеса на човек.

Валезите на острова са сравними с тези в България, но поради географското положение и попадането в субтропичния климатичен пояс, те в основната си част са през есенно-зимния период. Латералните геохимични потоци влияят пряко и върху формирането на състава на дънните седименти. Големите ареали, почти лишени от растителност, определят в голяма степен попадането на изветрителна маса в дънните отложения на местните реки. Многобройни са ровините и доловите, по които скалният материал мигрира бързо по време на проливни дъждове. Построените микроязовири спират естествените пътища на миграция на веществата, а използването на водите за напояване допълнително променят посоката на пренос на седиментите. Механичният и геохимичният състав е различен в районите с различни почвообразуващи скали и съответно микроелементният състав е специфичен.

Пространственото разположение на събраните проби и резултатите от геохимичния анализ са представени на фиг. 1. и в табл. 5.

Анализът на данните от табл. 1 позволява сравнение със съдържанията на дънните седименти в различни обекти, като се открият сходства и различия.

В сравнение с дънните отложения на Европа повечето микроелементи в седиментите на острова са с по-ниски съдържания, почти еднакви са стойностите за оловото и единствено никелът е в по-високи концентрации: 31 mg/kg срещу 11 mg/kg в континента.

Таблица 5

Съдържания на тежки метали (в mg/kg) в дънните отложения (ДО) на Европа, България, п-в Атон и о-в Тасос

Обект	Микроелементи						
	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Литосфера ¹	47	83	16	1000	58	18	83
ДО в Европа ²	22	120	39	1120	11	35	93
ДО на България - фон ³	45	94	25	777	28	17	64
ДО на Атон ⁴	18.8	120.4	50	586.4	46	44.2	97.6
ДО на Тасос	6,5	90,5	39,5	392	31	28	32

¹ (по Виноградов, 1962); ² (по Salminen, 2005); ³ (по Пенин, 2003); ⁴ (по Пенин, Желев, 2011).

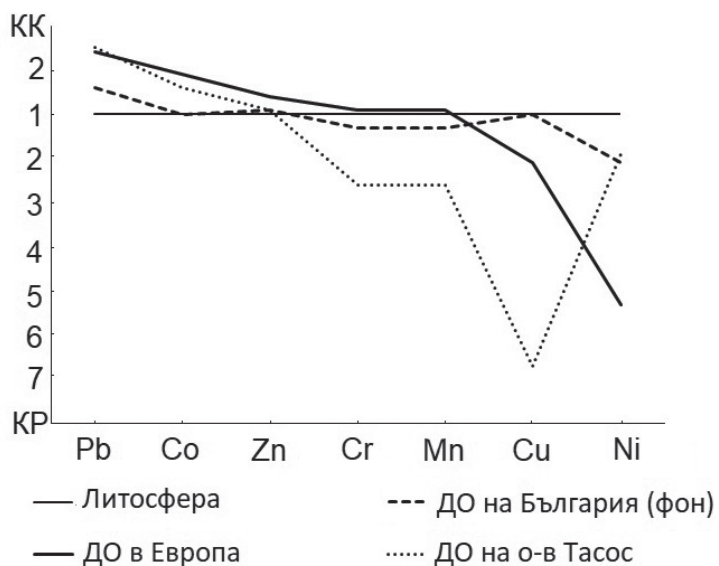
В сравнение със седиментите на фонове територии в България по-високи са съдържанията на Pb, Ni и Co, а при останалите елементи те са с по-ниски. Като цяло, различията не са големи, което доближава резултатите от острова до тези на относително незасегнати от антропогенна дейност райони в България.

Изготвеният геохимичен спектър разкрива микроелементите и техните асоциации, натрупващи или разсейващи се в дънните седименти на острова, спрямо техните кларки в литосферата и стойности на КК и КР за Европа и фоновите територии от България (фиг. 5). На фигурата се забелязват няколко особености. Спрямо сравняемите обекти стойностите на коефициентът на разсейване е най-висок за медта (КР=7,5). Това е свързано с относително ниските общи съдържания на този микроелемент в почвите на острова (23 mg/kg), както и в киселите метаморфни скали, явяващи се почвообразуващи за голяма част от територията на Тасос.

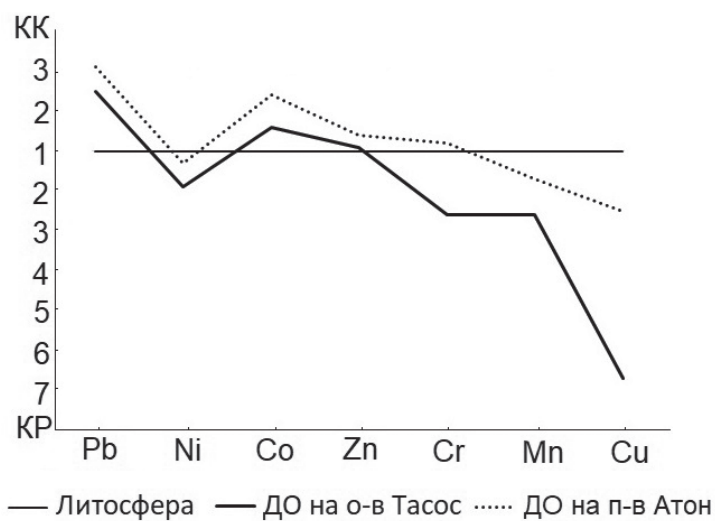
Стойностите на КК за останалите елементи са близки. Микроелементите Mn и Cr се отличават с по-високи стойности на КР по отношение на дънните елементи в континента и фоновите територии в България. Като цяло, повечето изследвани тежки метали се доближават до концентрации характерни за фонове територии.

Най-близко разположеният обект, за който има геохимична информация за дънните седименти и се характеризира със сходни природни ландшафти, е п-в Атон (Пенин, Желев, 2011). Изготвен е геохимичен спектър, позволяващ сравнения по отношение на концентрациите на тежки метали в двата обекта (фиг. 6).

Анализът на фиг. 6 показва по-ниски концентрации (съответно по-високи стойности на КР) за микроелементи в седиментите от острова в сравнение с Атон. Оловото, никелът, кобалтът и цинкът се концентрират с малко по-ниски стойности на КК в седиментите на Тасос. Тези геохимични резултати могат да се приемат като фонове за острова и съседните територии.



Фиг. 5. Геохимичен спектър на микроелементите в литосферата, дънните отложения на Европа, фоновите територии от България и от о-в Тасос



Фиг. 6. Геохимичен спектър на микроелементите в дънните отложения от о-в Тасос и п-в Атон

Интерес представлява сравнението по течението на реката, преминаваща през селищата Мариес и Скала Марион. Тази река през сухия сезон е преградена с пясъчна коса и образува малък лиман. Едната проба е взета в планинската част от течението, над с. Мариес. Втората проба е взета при вливането на реката в лимана при Скала Марион и се явява информативна, тъй като тук се проявява сумарният геохимичен ефект от водосборния басейн на реката.

В по-високата част над с. Мариес съдържанията на тежки метали в седиментите са по-ниски в сравнение с тези в долното течение. Единствено манганът е с относително по-високо общо съдържание. С най-високи съдържания се отличават цинкът и оловото, които имат стойности над Мариес съответно 109 mg/kg и 34,7 mg/kg, в долното течение непосредствено преди вливането на реката съдържанията са 159,3 mg/kg и 69,2 mg/kg. Тези микроелементи се отличават с по-интензивна миграция в границите на изследвания водосбор от реката.

Получените резултати могат да се съпоставят с прагови и максимално допустими концентрации за съдържания на тежки метали и металоиди в речни седименти в различни обекти – Европа и фонове и техногенни райони от България. В Европейския съюз до момента няма въведени от законодателството в областта на околната среда единни нормирани стойности за замърсители (органични и неорганични) на седименти. Ето защо тук се използват такива, утвърдени от Агенцията за защита на околната среда в САЩ (US EPA).

Таблица 6

Сравнителни данни за съдържание на тежки метали (mg/kg) в дънните седименти от аквални комплекси на о-в Тасос, реки от фонове територии в Европа, фонове и техногенни територии в България, прагови и значими концентрации (US EPA)

Обект	Микроелементи						
	Cu	Pb	Co	Zn	Mn	Ni	Cr
Средно съдържание о-в Тасос (медиана)	6,5	39,5	28	90,5	392	31	32
Реки в Европа (De Vos, Tarvainen et al., 2006)	17	20,5	8	71	790	21	63
Фонове райони (Пенин (2003))	45	25	17	94	777	28	64
Техногенни райони (Пенин, 2003)	217	102	37	155	972	35	74
Прагови концентрации (ТЕС) (MacDonald, Ingersoll, 2002)	31,6	35,8	---	121	460	22,7	43,4
Значими концентрации (РЕС) (MacDonald, Ingersoll, 2002)	149	128	---	459	1100	48,6	111

Нормативите на US EPA (MacDonald, Ingersoll, 2002) указват две нива за качеството на седиментите – прагови концентрации (Threshold Effect Concentrations/ТЕС) и значими (с вероятен вреден ефект) концентрации (Probable Effect Concentrations/РЕС) върху биологичното състояние на речната система. Подобна, двустепенна скала за контролиране на качеството на седиментите е приета от властите на канадската провинция Онтарио, която съдържа норми и за манган, и желязо. Оттам са и нормите за елемента манган (Guidelines..., 2008). За микроелемента кобалт не се откриват представителни стандарти. Подобни сравнения сме използвали и при други изследвания на микроелементния състав на дънните седименти (Чолакова, Пенин, 2016).

Сравнението показва, че почти всички микроелементи не превишават праговете и значимите концентрации. Единствено оловото има малко по-високо съдържание в седиментите на острова (39,5 mg/kg) в сравнение с определените прагови концентрации (35,8 mg/kg).

Само в отделни проби се наблюдават неголеми превишения на праговите концентрации за някои елементи като никела (в 5 пет пункта), оловото (в три пункта), мангана (в два пункта), цинка (един пункт), хрома (един пункт) и само медта няма нито едно превишение на праговете концентрации (табл. 1.). Установените в изследването повишени концентрации на никела и в почвената покривка видимо се отразяват и върху микроелементния състав на дънните отложения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеното ландшафтно-геохимично проучване установява особеностите на концентрация и диференциация на микроелементите Cu, Zn, Pb, Mn, Ni, Co, Cr в различни типове почви и дънните отложения на аквалните комплекси на о-в Тасос. Изследваните елементи имат специфични черти по отношение на общото съдържание в двата обекта на изследване. Установена е асоциация от тежки метали Ni, Cr, Co и Pb, която е с най-високи стойности на КК, докато медта и манганът има близки стойности до тези на континента и фоновите територии в България. Сравнението между концентрациите на микроелементи в почвите на острова и тези от съседни обекти показва повишени съдържания на Ni и Cr и в известна степен на Mn.

Асоциацията от микроелементите Zn, Cu и Pb е с концентрации сравнително по-ниски от тези в съседните територии.

Разкрита е радиалната диференциация на микроелементите в избран почвен профил на канелена горска почва. Като цяло стойностите на коефициента на радиална диференциация (R) показват относително равномерно разпределение на тежките метали по хоризонти в почвения профил. Това се отнася особено за асоциацията от елементи: Cu, Ni, Co и Cr.

Проучените резултати за концентрацията на тежки метали в дънните отложения на острова показват, че в сравнение с дънните седименти в Европа тези от острова са с по-ниски съдържания, почти еднакви са стойностите за оловото за двата обекта, и единствено никелът е в по-високи концентрации. Сравнение-

то с дълни отложения във фонови територии в България показва, че по-високи са съдържанията на Pb, Ni и Co, а на останалите елементите са по-ниски. Като цяло, различията не са големи, което доближава резултатите от острова до тези на относително незасегнати от антропогенна дейност райони в България и континента. Получените резултати са част от предмониторингов етап на изследване и дават основание за изграждане на системен геохимичен мониторинг на приоритетните в екологично отношение тежки метали.

Получените резултати от биогеохимичното изследване на острова ще бъдат представени в следващата статия в списанието.

ЛИТЕРАТУРА

- Авесаломова, И.А.** 1987. Геохимические показатели при изучение ландшафтов. Изд. МГУ. /Avessalomova, n. A. 1987. Geochemical indicators in the study of landscapes. Ed. Moscow State University, M. (Ru)
- Асенов, А.** 2001. Обща биогеография. СУ „Св. Климент Охридски“, София, 267 с. / Assenov, A. 2001. General biogeography. SU „St. Kliment Ohridski“, Sofia, 267 p. (Bg)
- Батоян, В.В., Н.К. Зайцев.** 1985. Геохимические барьеры и способность аквальных ландшафтов к самоочищению. – Вестн. МГУ. Сер.геогр./Batoyan, V.V., N.K. Zaitsev. 1985. Geochemical barriers and the self-cleaning capacity of aquatic landscapes. *Vestn. Moscow State University. Ser.geogr.* (Ru)
- Виноградов, А.П.** 1957. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М. Изд-во АН СССР. /Vinogradov, A.P. 1957. Geochemistry of rare and trace chemical elements in soils. M. Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR. (Ru)
- Виноградов, А.П.** 1962. Среднее содержание элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. – Геохимия, 7. /Vinogradov, A.P. 1962. Average content of elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust. - *Geochemistry*, 7. (Ru)
- Воронов, А.Г., Н.Н. Дроздов** и др. 2004. Биогеография с основами экологии. ИКЦ „Академкнига“, М. 408 с./ Voronov, A.G., N.N. Drozdov et al. 2004. Biogeography with the basics of ecology. ICC „Akademkniga“, M. 408 p. (Ru)
- Георгиев, Георги К.** 1953. Железодобивната индустрия в Мървашко (планината Алиботуш и съседните планини). София, с. 15-21./ Georgiev, Georgi K. 1953. The iron industry in Murvashko (Alibotush mountain and its neighboring mountains). Sofia, pp. 15-21. (Bg)
- Груев, Бл., Б. Кузманов.** Обща биогеография. Изд. СУ „Св.Климент Охридски“, 1994./ Gruev, Bl., B. Kuzmanov. General biogeography. Ed. Sofia University „St. Kliment Ohridski“, 1994. (Bg)
- Желев, Д.** 2016. Съвременни ландшафти и антропогенизация в басейна на р. Сазлийка, СУ „Св. Климент Охридски“, Дисертация, 270 с. /Zhelev, D. 2016. Contemporary landscapes and anthropogenization in the basin of the Sazliyka River, Sofia University „St. Kliment Ohridski“, Dissertation, 270 p. (Bg)
- Желев, Д.** 2016-а. 2016. Ландшафтно-геохимични изследвания на радиалната структура в почвите на Старозагорското поле. – Год. на СУ, кн. 2, География, том 108./ Zhelev, D. 2016. 2016. Landscape-geochemical studies of the radial structure in the soils of the Stara Zagora field. - Year. at Sofia University, vol. 2, Geography, Volume 108. (Bg)

- Исаченко, А.Г., А.А. Шляпников.** 1989. Ландшафты. М., Изд. Мысль. 504 с./ Isachenko, A.G., A.A. Shlyapnikov. 1989. Landscapes. M., Ed. Think. 504 p. (Ru)
- Кабата – Пендиас, А., Х. Пендиас.** 1989. Микроэлементы в почвах и растениях, М., Мир. 440 с./ Kabata-Pendias, A., H. Pendias. 1989. Trace elements in soils and plants. M., Ed. Peace. 440 p. (Ru)
- Касимов, Н.С., Р. Пенин.** 1991. Геохимическая оценка состояния ландшафтов речного бассейна по донным отложениям. – В: Сб. Мониторинг фоновое загрязнение природных сред, Вып. 7, Л., Изд. Гидрометеоиздат./ Kasimov N.S., R. Penin. 1991. (Bg) Geochemical assessment of the state of river basin landscapes based on bottom sediments. - In: Sat. Monitoring of background pollution of natural environments, Vol. 7, L., Ed. Hydrometeoizdat. (Ru)
- Касимов, Н.С.** 2013. Экогеохимия. Изд. Филимонов, М., 208 с./ Kasimov, N.S. 2013. Ecogeochemistry. Ed. Filimonov, M., 208 p. (Ru)
- Коцев, Ц.** 2003. Ландшафтно-геохимични изменения в басейна на язовир „Огоста“ под въздействието на минно-добивната дейност. Дисертация, София, БАН, Геогр. Инст./ Kotsev, Ts. 2003. Landscape-geochemical changes in the basin of Ogosta dam under the influence of mining activity. Dissertation, Sofia, BAS, Geogr. Inst. (Bg)
- Куйкин, С., И. Атанасов, Ю. Христова, Д. Христов.** 2001. Фонови съдържания на тежки метали и арсен в почвообразуващите скали в България. – Почвознание. Агрохимия и екология, год. XXXVI, No1./ Kuikin, S., I. Atanasov, Yu. Hristova, D. Hristov. 2001. Background contents of heavy metals and arsenic in the soil-forming rocks in Bulgaria. - *Soil science. Agrochemistry and ecology*, year XXXVI, No1. (Bg)
- Мирчев, С.** 1971. Химичен състав на почвите в България. С., Изд. БАН, 310 с./ Mirchev, S. 1971. Chemical composition of soils in Bulgaria. S., Ed. BAS, 310 p. (Bg)
- Пенин, Р.** 1989. Ландшафтно-геохимическая оценка заповедных территории Юго-Западной Болгарии. Канд. Дис. Московски Университет „М.В.Ломоносов“, М., 289 с. /Penin, R. 1989. Landscape-geochemical assessment of protected areas in South-Western Bulgaria. Cand. Dis. Moscow University «MV Lomonosov», M., 289 p. (Bg)
- Пенин Р., Цв. Коцев.** 1999. Ландшафтно-геохимични проучвания в басейна на р. Широколяшка – Западни Родопи. – Год. СУ., кн. 2, География, т. 92./ Penin R., Tsv. Kotsev. 1999. Landscape-geochemical studies in the basin of the Shirokolashka River - Western Rhodopes. *Year. SU.*, Book. 2, Geography, vol. 92. (Bg)
- Пенин, Р.** 2003. Геохимията на ландшафтите – приоритетно научно направление при разкриване и решаване на екологични проблеми. – В: Юбилеен сборник 30 години катедра ЛОПС, С./ Penin, R. 2003. The geochemistry of landscapes - a priority scientific direction in the detection and solution of environmental problems. - In: Jubilee collection 30 years of LOPS department, S. (Bg)
- Пенин, Р., Т. Стоилкова, Д. Желев, Ат. Китев, А. Степчич, Я. Иванов.** 2014. Ландшафтно-геохимични изследвания в планината Боздаг. – В: Сб. доклади от Научна конференция с международно участие в чест на проф. д-р Иван Батаклиев, с. 236-244./ Penin, R., T. Stoilkova, D. Zhelev, At. Kitev, A. Stepchich, J. Ivanov. 2014. Landscape-geochemical research in the Bozdag mountain. - In: Sat. reports from a Scientific Conference with international participation in honor of Prof. Dr. Ivan Batakliiev, pp. 236-244. (Bg)
- Пенин, Р., А. Китев.** 2016. Ландшафтни и екогеохимични изследвания в планината Славянка. – Год. на СУ, кн. 2, География, т. 107./ Penin, R., A. Kitev. 2016. Landscape and ecogeochemical research in Slavyanka Mountain. *Year. at Sofia University*, vol. 2, Geography, vol. 107. (Bg)
- Пенин, Р., Д. Желев.** 2011. Ландшафтно-геохимическите особености Афонского полуострова (Северная Греция). – Известия русского географического общества, вып.4, С. Петербург. Penin, R., D. Zhelev. 2011./ Landscape and geochemical features of the

- Athos Peninsula (Northern Greece). *News on the Russian Geographical Society*, issue 4, St. Petersburg. (Ru)
- Пенин, Р.** 2003. Геохимията на ландшафтите – приоритетно научно направление при разкриване и решаване на екологични проблеми. – В: Юбилеен сборник 30 години катедра ЛОПС, С. Penin, R. 2003./ The geochemistry of landscapes - a priority scientific direction in the detection and solution of environmental problems. - In: Jubilee collection 30 years of LOPS department, S. (Bg)
- Перельман, А.И.** 1975. Геохимия ландшафта. М., Высшая школа, 340 с./ Perelman, A.I. 1975. Landscape Geochemistry. M., Higher school, 340 p. (Ru)
- Перельман, А.И., Н.С. Касимов.** 1999. Геохимия ландшафта. М., Изд. „Астреа“. 715 с./ Perelman, A.I., N.S. Kasimov. 1999. Landscape Geochemistry. M., Ed. Astrea. 715 p. (Ru)
- Полинов, Б.Б.** 1956. Избрани трудове. Изд. АН СССР, М., 751 с./ Polinov, B.B. 1956. Elect Trudov. Ed. Academy of Sciences of the USSR, M., 751 p. (Ru)
- Райков, Л. и др.** 1984. Проблеми на замърсяването на почвата. С., Земиздат. 164 с./ Raykov, L. and others. 1984. Problems of soil pollution. S., Zemizdat. 164 p. (Bg)
- Чолакова, З., Р. Пенин.** 2016. Геохимия на микроелементния състав на дънните седименти в басейна на р. Дългоделска Огоста. – Год. СУ, Геол.-геогр. фак., кн. 2, География, том: 107, стр.107-122./ Cholakova, Z., R. Penin. 2016. Geochemistry of the microelement composition of the bottom sediments in the basin of the river Dalgodelska Ogosta. Year. SU, Geol.-geogr. faculty, book 2, Geography, Volume: 107, pp.107-122. (Bg)
- *** Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. 1982. М. ИМГРЭ./ Methodical recommendations for geochemical assessment of sources of environmental pollution. 1982. M. IMGRE. (Ru)
- *** Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. 1989. М., Наука. 264 с./ Landscape-geochemical foundations of the background monitoring of the natural environment. 1989. M., Science. 264 p. (Ru)
- Bloomfield, C.** 1981. The translocation of Metals in Soils, N.Y.
- Davies, В.Е.** 1980. Applied Soil Trace Elements, Jonh Wiley&Son, New York.
- Lindssay, W.L.** 1972. Zinc in soils and plant nutritionq Adv. Agron. 24, 147.
- De Vos, W., T. Tarvainen** (Chief-Eds.). 2006. Geochemical Atlas of Europe. Part 2: Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications. GTK, FOREGS-EuroGeoSurveys, electronic version,
- Higgins, M.D., RA. Higgins.** 1996. A Geological Companion to Greece and the Aegean. Cornell University Press. ISBN 0-8014-3337-1
- Kabata-Pendias, A.** 2010. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press; 4th edition. 548 p. ISBN-13: 978-1420093681
- MacDonald, D. D., C. G. Ingersoll.** 2002. A Guidance Manual to Support the Assessment of Contaminated Sediments in Freshwater Ecosystems. Vol. III - Interpretation of the Results of Sediment Quality Investigations. US EPA-905-B02-001-C.
- Nikolova, N.** 2020. Multiannual monitoring of heavy metals in the bottom sediments of the Blagoevgrad Bistritsa River basin. In: Smart Geography 100 Years of the Bulgarian Geographical Society.
- Norrish, K.** 1975. The geochemistry and mineralogy of trace elements. In: Trace Elements in Soil-Plant-Animal System, Academic Press, New York.
- Salminen, R.** (Chief-Ed.) et al. 2005. Geochemical Atlas of Europe. Part 1: Background information, Methodology and Maps., GTK, FOREGS-EuroGeoSurveys, electronic version, <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/index.php>

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,
electronic version, <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/index.php>

*** Guidelines for Identifying, Assessing and Managing Contaminated Sediments in Ontario:
An Integrated Approach. 2008. Ontario Ministry of Environment, Queen's Printer for
Ontario, 107 p.
<http://www.thassos-island.com/explore-thassos/history-of-thassos>
https://www.geocaching.com/geocache/GC2V99N_metaliabeach?guid=28771b50-90b5-4646-85cc-94a35847cf8a
<http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/part2.php>.

