



## ИЗВЕСТИЯ НА БЪЛГАРСКОТО ГЕОГРАФСКО ДРУЖЕСТВО JOURNAL OF THE BULGARIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY

web-site: [www.geography.bg](http://www.geography.bg) e-mail: [journal.bgs@geography.bg](mailto:journal.bgs@geography.bg)



### Предмониторингово биогеохимично проучване на ландшафтните в района на златодобивния комплекс „Ада Тепе“ в Източните Родопи

### Pre-Monitoring Biogeochemical Research of the landscapes in the Area of Ada Tepe Gold Mining Site (Eastern Rhodopes)

Румен Пенин, Димитър Желев

Софийски университет „Св. Климент Охридски“, Геолого-географски факултет,

катедра „Ландшафтна екология и опазване на природната среда“

1504 София, България, бул. „Цар Освободител“ №15

Rumen Penin, Dimitar Zhelev

Sofia University “St. Kliment Ohridski”, Faculty of Geology and Geography, Department of Landscape Ecology and Environmental Protection

1504 Sofia, Bulgaria, 15 Tsar Osvoboditel Blvd.

#### ABSTRACT

#### Key words:

contamination, pollution,  
mining, plants, gold, environment,  
mountains

The article depicts the biogeochemical properties of the landscapes in the area of the Ada Tepe gold mine (Krumovitsa River Catchment, Eastern Rhodopes) before its launching as an active ore-extraction site. The research is conducted by examination of heavy metals content in particular samples of representative native plant species in the local landscapes. The conducted research surveyed the content of 7 chemical elements (heavy metals) in the tissues of native plants from the landscapes in the Eastern Rhodopes. These microelements are generally prioritized in terms of environmental protection. The interpretation of the obtained results was made by applying the Coefficient of Biological Absorption (Ax). It is as a result of the proportions between the chemical content in the plant tissue (Ix) and the chemical content in the local soil/bedrock (nx). By default, this coefficient represents the absorption (and accumulation) intensity of chemical elements in the plants.

#### Увод

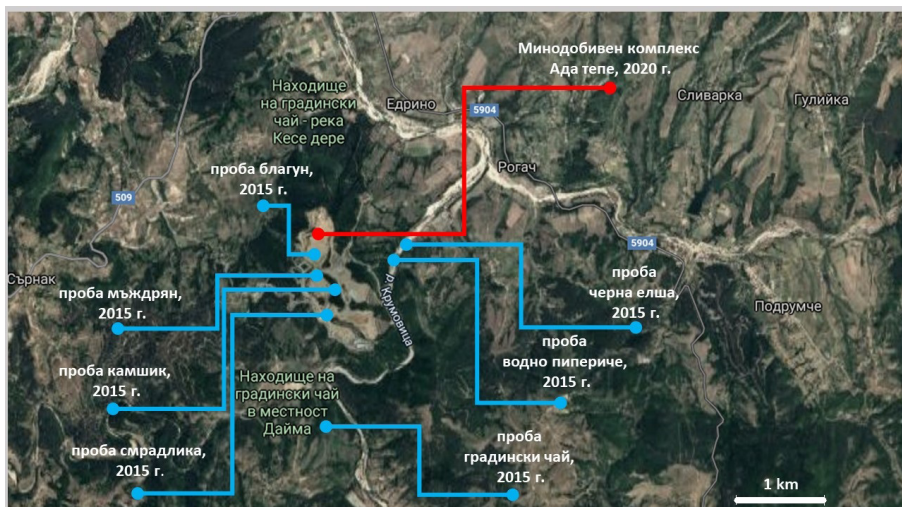
Биогеохимичните проучвания намират все по-широко приложение в изследванията на съвременните ландшафти. Те заемат ключово място при решаване на проблемите, отнасящи се до опазването на природната среда. Биогеохимично изражение имат и конкретните проучвания, свързани с мониторинга на околната среда и особено при разкриване на антропогенното въздействие върху природно-териториалните комплекси. Растителността е особено чувствителна към промените в геохимичната среда, предизвикани от засилващата се през последните десетилетия стопанска дейност на хората. Основен способ за определяне степенята на замърсяване с токсични елементи е биогеохимичната индикация.

Във връзка с регионалните биогеохимични особености на постъпване, биогеохимична трансформация и установяване на степенята на акумулация и концентрация на полутантите в отделните компоненти на ландшафтните, особено наложително е провеждането на изследвания във връзка с еколого-биогеохимичния мониторинг (Израел, 1984; Ландшафтно-геохимические..., 1989; Пенин, 1992;

Пенин, Желев, 2013, и др.). Необходимо е да подчертаем, че поглъщането на химичните елементи и съединения се различава съществено в естествени фонове райони и в райони с аномални (рудогенни и техногенни) съдържания. Биогеохимичната индикация е сред приоритетните направления на изследване в биогеохимията.

За целта на организацията на мониторинга на природната среда се провеждат подобни проучвания в относително най-незасегнатите в антропогенно отношение райони, които са представителни участъци на съвременни ландшафти, които практически са по-слабо засегнати от антропогенна дейност. От друга страна има райони, които в миналото са били обект на интензивно използване за определена стопанска дейност – в случая с избрания обект в района се е извършвала рудодобивна дейност и преди всичко добиване на злато (Nikov, 2017; Pоров, Nikov, 2018; Nikov et al., 2018).

Такъв район, в който се срещат слабо нарушени ландшафти от една страна и антропогенизирани в различна степен е територията около Ада тепе – старият-нов рудник, разположен югоизточно от Крумовград. По време на експедиционните полета изследвания бяха проучени и взети проби за анализ от почвите, дънните отложения



**Фигура 1.** Район на изследване – Ада тепе, и местоположение на събраните проби.

**Figure 1.** Study area - Ada Tepe, and location of the collected samples.

на р. Крумовица и нейни притоци и растителни проби от характерни и редки видове – дървесни, храстови и тревни (листна маса) (фиг. 1).

Територията от водосбора на р. Крумовица е част от прехода между европейската широколистна горска област от биома на *Aestiflignosa* и средиземноморската област на твърдолистните вечнозелени гори (*Duriflignosa*). Попада в източната част на Македоно-Тракийската провинция – Крумовградски район на Източните Родопи. Този район се характеризира с голямо разнообразие на растителността. Естествената растителност е доминирана от ксеротермни благунови и благуново-церови гори, ксеромезофитни горунови и смесени горуново-габрови гори (География на България, 2002). Антропогенезацията на района е предпоставка за вторично остепняване на територията, залесяване с нетипични местни видове и промяна на видовия състав.

## Методика на изследването

Работата е извършена в съответствие с определена методика, разработена и прилагана в тази област (Глазовская, 1964; Фортемяк, 1985; Алексеенко, 1990; Перелман, Касимов, 1999; Башкин, Касимов, 2004; Добровольский, 2009 и др.).

В растителните проби е проучено общото съдържание (mg/kg, ppm) на елементите мед (Cu), цинк (Zn), олово (Pb), манган (Mn), никел (Ni), кобалт (Co), хром (Cr) и кадмий (Cd). Пробите 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 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  $A_x = I_x/p_x$  (изведен 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 ( $p_x$ ), и практически характеризира 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 (Польнов, 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 геохимичната 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).

## Анализ интерпретация на получените резултати

При полевата работа е търсен оптимален вариант за подбор на растителни видове, които да бъдат характерни за съответните картирани ландшафти с техните почвени и скални геохимични особености. Например влаголюбивия вид водно пипериче (*Persicaria hydropiper*) е пряко свързан с отложените седименти в заливната тераса на реката в р. Крумовица и е представително за тревната крайречна растителност и дава възможност да се обвържат резултатите от съдържанието на микроелементите в пробата с тези на седиментите, отлагани при високо ниво на реката. Взета е проба от един от широко разпространените видове камшик (*Agrimonia eupatoria*), характерен в Ада тепе както за билните (елувиални) така и за склоновите (транселувиални) геохимични ландшафти. В защитената местност „Находище на градински чай в местност Дайма“ в югоизточното подножие на Ада тепе е взета листна проба от вида градински чай (*Salvia officinalis*). На границата на изкуствените борби насаждения е взета проба от храстовия вид смрадлика (*Cotinus coggygria*), който

е характерен за склоновете транселувиални ландшафти на района на проучване. От дървесните видове са взети проби от блягун (*Quercus frainetto*) и мъждрян (*Fraxinus ornus*) в транселувиални ландшафти по склоновете на Ада тепе, и черна елша (*Alnus glutinosa*) в елувиално-аккумулятивен ландшафт в близост до първа надзаливна тераса на р. Крумовица.

Получените резултати за общо съдържание на микроелементите в растителните проби са представени в табл. 1. Биогеохимичното изследване е част от комплексното ландшафтно-геохимично проучване на Ада тепе и в табл. 2 са представени данни за общото съдържание на микроелементите в литосферата, почвите на Европа, почвите на България, почвите на България – фон. За установяване на връзката растение – скална основа са представени и стойностите на съдържание на проучваните микроелементи в скалите.

Анализът на данните показва, че от проучените тежки метали в най-висока степен, освен манганът (427 mg/kg), в

листната маса се натрупват цинк (119 mg/kg), мед (81 mg/kg), и в по-ниски количества никел и олово, а кобалтът и хромът са захванати в ниска степен само от някои растения. С най-високи стойности на микроелементи се отбелязват за листата на черната елша, където се натрупва асоциацията Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Co. Единствено хромът не присъства в асоциацията. Този елемент не е установен и в още четири растителни проби. Усвояването на хрома от растителната покривка варира в широки граници и зависи преди всичко от неговите подвижни форми в почвите и водите, като влиянието на хрома в метаболизма на растенията не е добре проучено (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

За разкриване на връзката между съдържанията на тежки метали е изчислен коефициентът на биологично поглъщане (Ах) по отношение на почвите на страната (фон) и почвите на района на проучване, както и по отношение на скалите. Получените стойности са отразени в таблици 3, 4 и 5.

**Таблица 1.** Съдържание на тежки метали в растителни проби от Ада тепе (mg/kg).

**Table 1.** Content of heavy metals in the plant samples of Ada Tepe (mg/kg).

Растителни видове/Микроелементи	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Блягун ( <i>Quercus frainetto</i> ), Ада тепе	45	79	5	692	40	2	0
Камшик ( <i>Agrimonia eupatoria</i> ), Ада тепе	81	119	3	197	20	5	3
Смрадлика ( <i>Cotinus coggygria</i> ), Ада тепе	56	83	1	276	13	2	0
Мъждрян ( <i>Fraxinus ornus</i> ), Ада тепе	37	109	7	427	7	3	2
Водно пипериче ( <i>Persicaria hydropiper</i> ), р. Крумовица	89	147	5	173	5	2	0
Черна елша ( <i>Alnus glutinosa</i> ), р. Крумовица	153	158	6	790	41	4	0
Градински чай ( <i>Salvia officinalis</i> ), при защитена местност „Находище на градински чай в местност Дайма“, подножие на Ада тепе	86	131	4	427	12	0	0
Средна аритметична стойност	77,96	117,97	4,39	425,99	19,67	2,41	0,61
Медиана	80,74	118,50	4,76	426,85	12,68	2,38	0,00

**Таблица 2.** Съдържание на микроелементите (mg/kg) в литосферата и почвите на света (Виноградов, 1962), почви на Европа (по Salminen, 2005), почви на България (Мирчев, 1971, Райков и др., 1984), почви на България-фон (Пенин, 2003), кисели метаморфни скали в България (Куйкин, 2001) и почвите в района на Ада тепе.

**Table 2.** Content of microelements (mg/kg) in lithosphere and world soils, soils in Europe, soils in Bulgaria, soils in Bulgaria (natural background territories), acidic metamorphic rocks in Bulgaria, and soils in the area of Ada Tepe Mining site.

Природен обект / микроелементи	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Литосфера <sup>1</sup>	47	83	16	1000	58	18	83
Почви на света <sup>2</sup>	20	50	10	850	40	8	100
Почви на Европа <sup>3</sup>	17	68	33	810	37	10	95
Почви на България <sup>4</sup>	30	75	35	1000	36	20	70
Почви на България (фон) <sup>5</sup>	24	67	25	695	32	16	60
Кисели метаморфни скали в България <sup>6</sup>	20	50	20	287	10	11	8
Почви в района на Ада тепе	18	77	19	597	41	10	34

<sup>1,2</sup> Виноградов, 1962; <sup>3</sup> Salminen, 2005; <sup>4</sup> Мирчев, 1971, Райков и др., 1984; <sup>5</sup> Пенин, 2003; <sup>6</sup> Куйкин, 2001

**Таблица 3.** Коефициент на биологично поглъщане (Ах) спрямо почвите на района на Ада тене.**Table 3.** Coefficient of biological absorption (Ax) based on local soils of Ada Tene.

Растителни видове/ Микроелементи	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Блазун ( <i>Quercus frainetto</i> ), Ада тене	2,51	1,02	0,25	1,16	0,98	0,24	0,00
Камшик ( <i>Agrimonia eupatoria</i> ), Ада тене	4,49	1,53	0,17	0,33	0,48	0,46	0,04
Смрадлика ( <i>Cotinus coggygria</i> ), Ада тене	3,09	1,07	0,03	0,46	0,31	0,18	0,00
Мъждрян ( <i>Fraxinus ornus</i> ), Ада тене	2,04	1,41	0,35	0,72	0,16	0,25	0,03
Водно пипериче ( <i>Persicaria hydropiper</i> ), р. Крумовица	4,93	1,90	0,26	0,29	0,12	0,17	0,00
Черна елша ( <i>Alnus glutinosa</i> ), р. Крумовица	8,50	2,04	0,34	1,32	1,00	0,40	0,00
Градински чай ( <i>Salvia officinalis</i> ), при защитена местност „Находище на градински чай в местност Дайма“, подножие на Ада тене	4,76	1,69	0,22	0,72	0,28	0,00	0,00

**Таблица 4.** Коефициент на биологично поглъщане (Ах) спрямо почвите на България.**Table 4.** Coefficient of biological absorption (Ax) based on soils in Bulgaria.

Растителни видове/ Микроелементи	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Блазун ( <i>Quercus frainetto</i> ), Ада тене	1,51	1,06	0,14	0,69	1,12	0,12	0,00
Камшик ( <i>Agrimonia eupatoria</i> ), Ада тене	2,69	1,58	0,09	0,20	0,56	0,23	0,04
Смрадлика ( <i>Cotinus coggygria</i> ), в борова гора, Ада тене	1,85	1,10	0,02	0,28	0,35	0,09	0,00
Мъждрян ( <i>Fraxinus ornus</i> ), Ада тене	1,22	1,46	0,19	0,43	0,19	0,13	0,02
Водно пипериче ( <i>Persicaria hydropiper</i> ), в р. Крумовица	2,96	1,96	0,14	0,17	0,14	0,08	0,00
Черна елша ( <i>Alnus glutinosa</i> ), р. Крумовица	5,10	2,10	0,18	0,79	1,15	0,20	0,00
Градински чай ( <i>Salvia officinalis</i> ), при защитена местност „Находище на градински чай в местност Дайма“, подножие на Ада тене	2,86	1,75	0,12	0,43	0,32	0,00	0,00

**Таблица 5.** Коефициент на биологично поглъщане (Ах) спрямо кисели метаморфни скали.**Table 5.** Coefficient of biological absorption (Ax) based on acidic metamorphic rocks.

Растителни видове/ Микроелементи	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Cr
Блазун ( <i>Quercus frainetto</i> ), Ада тене	2,26	1,59	0,24	2,41	4,04	0,22	0,00
Камшик ( <i>Agrimonia eupatoria</i> ), Ада тене	4,04	2,37	0,16	0,69	2,00	0,41	0,33
Смрадлика ( <i>Cotinus coggygria</i> ), в борова гора, Ада тене	2,78	1,65	0,03	0,96	1,27	0,16	0,00
Мъждрян ( <i>Fraxinus ornus</i> ), Ада тене	1,83	2,18	0,33	1,49	0,67	0,23	0,21
Водно пипериче ( <i>Persicaria hydropiper</i> ), в р. Крумовица	4,44	2,94	0,25	0,60	0,49	0,15	0,00
Черна елша ( <i>Alnus glutinosa</i> ), р. Крумовица	7,65	3,16	0,32	2,75	4,14	0,36	0,00
Градински чай ( <i>Salvia officinalis</i> ), при защитена местност „Находище на градински чай в местност Дайма“, подножие на Ада тене.	4,29	2,62	0,21	1,49	1,15	0,00	0,00

С най-високи стойности на Ах по отношение на местните почви е Cu (8,5-2,4), за Zn (2-1,02), за Mn (1,3-0,29), а останалите елементи имат ниски стойности на биологично поглъщане. От растителните видове редът на биологично поглъщане на черната елша най-добре илюстрира това съотношение:

$$Cu > Zn > Mn > Ni > Co > Pb$$

По отношение на почвите на страната, като цяло стойностите на Ах не са високи, като за Cu е отбелязана стойност (5,10-1,22), за Zn (2,10-1,06), а за останалите микроелементи варират от 2,1 (Co) до 0,2 (Cr).

Анализът на Ах за тежките метали показва, че растенията имат биогеохимична специализация по отношение на елементите мед и цинк, а останалите елементи се натрупват в по-голяма или по-малка степен, а за някои видове не са установени съвършения на хром и кобалт.

За ракриване на връзката скална основа – растителност е изчислен коефициент Ах (табл. 5; Геоложка карта на България., 1990). С най-високи стойности за Ах се отличават медта, цинкът и никелът за черната елша: съответно  $Ax = 7,65$ ,  $Ax = 3,16$  и  $Ax = 4,14$ . Тези три елемента в сравнение с останалите микроелементи за всички поручени

видове имат най-високи стойности. Наблюдават се сходни стойности за Cu и Zn по отношение на почвите на страната и района на изследване (табл. 3 и 4). От останалите елементи в дървесните видове благунът има по-висока стойност на  $A_h > 4$  за кобалта. В двата дървесни вида манганът е също с най-висока стойност на  $A_h$ . Другите микроелементи са с ниски стойности на коефициента на биологично поглъщане и имат само слабо захващане.

За разкриване на мястото на съдържанията на тежки метали в растителните видове по отношение на други сравними в биогеохимията обекти са изготвени геохимични спектри (табл. 2; фиг. 1. и фиг. 2)

От първия спектър добре личат повишените стойности на  $KK > 1$  за двата елемента Cu и Zn, докато Cr се отличава с особено ниска стойност на КР.

Повишените концентрации на мед не е необикновено за много от растителните видове. Медта играе определена важна роля в биохимичните процеси на растенията, а някои от тях имат способността да акумулират значителни количества в различните си органи, проучванията на съдържанията на този микроелемент в зола показва широк диапазон от 5 до около 1500 mg/kg (Кабата- Пендуас, Пендуас, 1989; Shacklette, H. T. et al., 1978).

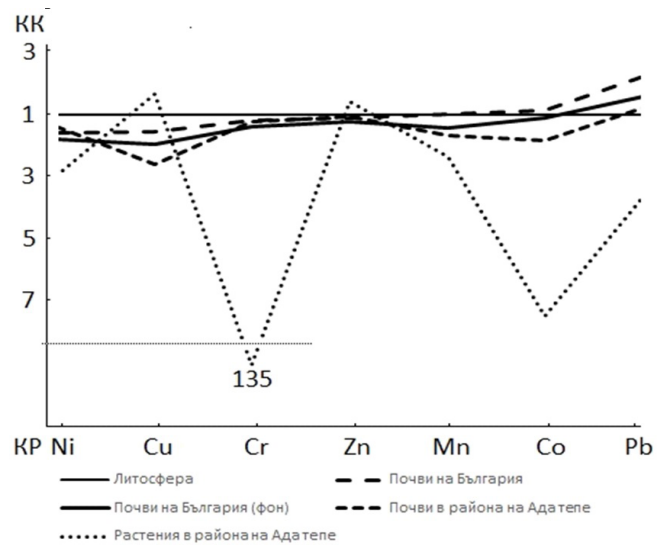
Счита се, че концентрациите на цинк в растенията се изменят под влияние на различни фактори действащи в различните природни комплекси. С важно значение са подвижните форми на микроелемента, които са по-достъпни за растенията и увеличаването на концентрациите на цинка е пряко зависимо от концентрациите му в хранителните разтвори, в почвите и стойностите на рН.

В два от проучените растителни вида концентрациите на мед и цинк са сравнително по-високи: в черната елша за медта са – 153 mg/kg и за цинка 158 mg/kg, и за водното пипериче съответно 89 mg/kg и 147 mg/kg. По всяка вероятност тези стойности на двата елемента се дължат на усвояването на подвижните им форми от лизиметричните води. След тях с близки концентрации на двата елемента са градинският чай и камшикът, както и в известна степен храстовият вид смрадлика. В останалите видове концентрациите на двата микроелемента също са по-високи в сравнение с всички останали изследвани тежки метали.

Хромът практически отсъства в микроелементния състав на проучените проби, което личи и от особено ниската му стойност на  $KP = 135$ . За този микроелемент има противоречиви данни от една страна за участието му в метаболизма на растенията, а от друга за степенна му на концентрация в различните групи растения. Като цяло стойностите му на общото съдържание не са високи, и само в райони с разпространение на серпентинити и находища на хромови руди са отбелязани по-високи съдържания в някои видове растения (Mertz, W. et al., 1974).

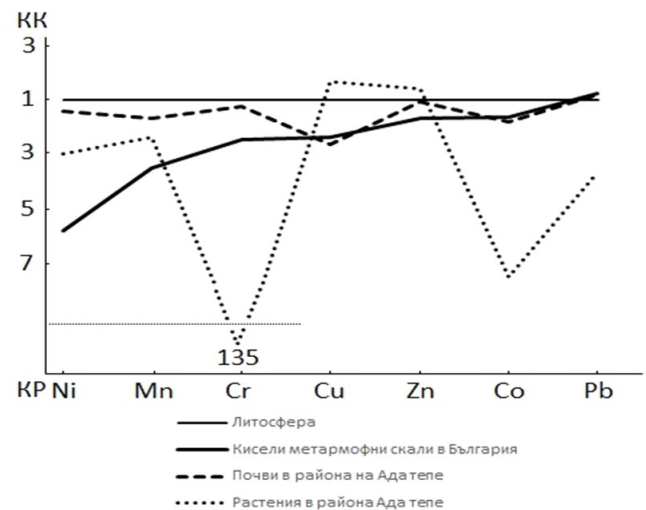
На геохимичния спектър (фиг. 2) са представени стойностите на  $KK$  и  $KP$  за проучените тежки метали. Забелязва се определено сходство в концентрацията и разсейването на микроелементите в спектъра и този от фиг. 1. По отношение на скалите в пробите от растенията с най-високи стойности на  $KP$  са хромът и кобалтът. Ni, Pb и Mn имат по нисък  $KP$ , и само Cu и Zn са с стойности на  $KK > 1$ . При интерпретирането на тези данни трябва да се има предвид и влиянието на местните геохимични аномалии в рудогенното поле в района на Ада тепе, които оказват пряко влияние върху останалите компоненти на ландшафта. Като цяло литогеохимичните особености и почвената покривка

показват по-малко сходство по отношение на никел, манган и хром, докато за останалите микроелементи стойностите на  $KK$  и  $KP$  са близки.



**Фигура 2.** Геохимичен спектър на микроелементите в литосферата (Виноградов, 1962), в почвите на България (Мирчев, 1971), почвен фон в България (Пенин, 2003), в почви в района на Ада тепе и в растителността в района на Ада тепе.

**Figure 2.** A geochemical spectrum of microelements in the lithosphere (Vinogradov 1962), in the soils of Bulgaria (Mirchev, 1971), in the soils of the natural background areas in Bulgaria (Penin, 2003), in the soils in the Ada Tepe area, and in the examined plants from the Ada Tepe area.



**Фигура 3.** Геохимичен спектър на микроелементите в литосферата (Виноградов, 1962), в кисели метаморфни скали в района на изследване (Куйкин, 2001), в почвите в района на Ада тепе и в проучените растения.

**Figure 3.** A geochemical spectrum of microelements in the lithosphere (Vinogradov, 1962), in the acidic metamorphic rocks in the Ada Tepe area (Kuykin, 2001), in the soils of the Ada Tepe area, and in the examined plants.

## Заклучение

Направеното биогеохимично проучване на ландшафтите в района на Ада тепе се явява предмониторингово, поради започналото развитие на златодобивната промишленост и превръщането на относително добре запазените природни ландшафти в силно антропогенезирани. Изследването показва различна степен на извличане на микроелементи и концентрацията им в листната им маса на подбрани растителни видове. С най-интензивно натрупване се отличават Си и Zn, които имат и високи стойности на коефициента на биологично поглъщане Ах. От тревните видове водното пипериче е с най-високи концентрации на двата микроелемента, от храстите – смрадликата, а от дървесните – черната елша. По отношение на скалната основа хромът и кобалтът са с най-ниска степен на концентрация в растителните проби, а с по-висока са мед, цинк и в известна степен манган.

Тези данни могат да бъдат в основата на организацията ландшафтно-геохимичния мониторинг, който задължително трябва да съпътства разрастващата се златодобивна индустрия в района на Ада тепе.

## Литература

- Авесаломова, И. А. 1987. Геохимические показатели при изучение ландшафтов, Изд. МГУ, М.
- Алексеенко, В. А. 1990. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М., Недра
- Башкин, В. Н., Н. С. Касимов. 2004. Биогеохимия. М., Научный мир.
- Виноградов, А. П. 1962. Среднее содержание элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. М., Геохимия.
- Глазовская, М. А. 1964. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М., МГУ.
- Добровольский, В. В. 2009. Биогеохимия мировой суши. Научный мир, М.
- Израэль, Ю.А. 1984. Экология и контроль состояния природной среды. Гидрометеоиздат, Л.
- Куйкин, С., И. Атанасов, Ю. Христова, Д. Христов. 2001. Фоновые содержания тяжелых металлов и арсена в почвообразующих скалах в България. – Почвоведение, агрохимия и экология, год. xxxvi, No 1
- Пенин, Р. 1992. Биогеохимична специализация на ландшафтите в резервата „Острица“. - Год. на СУ, книга 2 - География, том 84
- 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“. С., „Малео-63-Варна“.
- Пенин, Р., Желев, Д. 2015. Биогеохимични изследвания в басейна на р. Сазлишка. - Год. на СУ, ГГФ, кн. 2 – География, т. 107
- Пенин, Р., Желев, Д. 2015. Теренни ландшафтно-геохимични изследвания в района на Ада тепе, Източни Родопи, фондови материали.
- Перельман, А. И. 1975. Геохимия ландшафта. М., Высшая школа.
- Перельман, А. И., Н. С. Касимов. 1999. Геохимия ландшафта. Аспрея-2000, М.
- Полюнов, Б. Б. 1944. Валовой почвенный анализ и его толкование. Почвоведение, №10, М.
- Фортецкью, Д. 1985. Геохимия окружающей среды, Прогресс, М.
- Геоложка карта на България – картов лист Крумовград и Сепе, Комитет по геология, Предприятие по геофизични проучвания и геоложка картиране, 1990 г.
- Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. 1989. М., Наука.
- Mertz, W., Angino, E. E., Cannon, H. L., Hambidge, K. M., Voors, A. W. 1974. Chromium in: Geochemistry and the Environment., Vol.1, Mertz W., Ed., NAS, Washington, D.C.
- Nikov, K., Die Keramik vom Ada Tepe im Kontext der spätbronzezeitlichen Keramik in Thrakien. In: Das erste Gold. Ada Tepe: Das Älteste Goldbergwerk Europas, 63-67, Wien, 2017. ISBN 978-3-99020-130-5
- Nikov, K., Marinova, E., Bea de Cupere, Hristova, I., Dimitrova, Y., Iliev, S., Popov, H. 2018. Food supply and disposal of food remains at Late Bronze and Early Iron Age Ada Tepe: Bioarchaeological aspects of food production, processing and consumption. In: M. Ivanova, B. Athanassov, V. Petrova, D. Takorova, Ph. W. Stockhammer (eds). Social Dimensions of Food in the Prehistoric Balkans, 278-398, ISBN 978-1-78925-080-0, Oxbow books
- Popov, H., Nikov, K., Jockenhöfel, A. 2015. Ada Tepe (Krumovgrad, Bulgarien) – ein neu entdecktes spät-bronzezeitliches Goldbergwerk im baltisch-ägäisches Kommunikationsnetz. G. von Bülow (Hrsg.). Kontaktzone Balkan. Beiträge des internationalen kolloquiums herausgegeben von Gerda von Bülow. Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte., 20, Dr. Rudolf Habelt GmbH. Bonn., ISBN:978-3-7749-3983-7, 45-62