

ОЦЕНКА НА РЕКУЛТИВАЦИОННИ ДЕЙНОСТИ НА НАРУШЕНИ ТЕРЕНИ ОКОЛО ОТКРИТИ РУДНИЦИ С ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНИЯ

Деница Борисова¹, Христо Николов¹, Дойно Петков¹, Бануш Банушев²

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

²Минно-геоложки университет – София

e-mail: dborisova@stil.bas.bg

Ключови думи: минна промишленост, дистанционни изследвания, замърсяване на околната среда, рекултивация

Резюме: Антропогенното въздействие на минната индустрия върху околната среда се наблюдава по целия свят. През последните десетилетия няколко миннодобивни райони и съответните дела за отпадъци в България се наблюдават за протичащите процеси на рекултивация в тях. В тази работа се спряхме на изследване и последващо наблюдение на екологичния статус на един от най-важните райони за производство на мед за страната ни - Медет. Целите на настоящата работа са: (1) да се анализират многоспектрални спътникови данни за периода 1972 - 2011 г., за да се оцени замърсяването на околната среда от минна дейност в района на открития рудник Медет във времето, (2) да се докаже, че с помощта на дистанционните изследвания и наблюдения може да се направи комплексна оценка на въздействието върху околната среда. След преустановяване на експлоатацията на рудник Медет през 1994 г. е създадена и започва програма за рекултивация на почвената покривка и хидрографската мрежа. От 1995 г., за най-малко 15-годишен период, постоянна задача е проследяването на тези дейности. Считаме, че разкриването на потенциала на многоспектралните спътникови изображения, анализирани във времето, ще предостави ценна информация за въздействието на многогодишната минна дейност върху околната среда. Една от първите стъпки е използването на методи за установяване на постепенната промяна за оценка на краткосрочните рекултивационни дейности чрез изследване на състоянието на растителната покривка в районите около рудника. За да изпълним тази задача бяха използвани данни от Landsat TM/ETM+, съчетани с данните от проведените на място измервания. За обработка на данните бяха приложени няколко метода, както стандартните статистически обработки, подобряване на изображението и синтез на данните, така и нови методи за контролирана класификация. Получените резултати показват, че използваните данни и приложеният подход са полезни в наблюдението на околната среда и икономически изгодни за компанията, отговорна за екологичното състояние на региона.

REMOTE SENSING AND OBSERVATION OF OPEN PIT MINES FOR RECLAMATION ACTIVITIES

Denitsa Borisova¹, Hristo Nikolov¹, Doyno Petkov¹, Banush Banushev²

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²University of Mining and Geology – Sofia

e-mail: dborisova@stil.bas.bg

Keywords: mining-concentration industry, multivariate remote sensing, pollution, tailings, waste

Abstract: The anthropogenic impact of the mining industry on the environment is seen all over the world. In the last decades several mining areas and corresponding waste disposal sites in Bulgaria are being monitored for ongoing reclamation processes. In this research we were focused on one environmental status of one of the most important copper producing fields for our country - Medet deposit. The objectives of the study were: (1) to analyze multispectral satellite images for 1980 - 2000 in order to assess the environmental pollution from the mining activity in the Medet open pit mine in temporal perspective; (2) to prove that by means of remote sensing an integrated environmental impact assessment can be made. After ceasing its exploitation in 1994 a rehabilitation program for soil cover and hydrographic network was established and launched. A continuous task is the monitoring of these activities from the beginning for at least 15 years period. We consider that revealing the potential of satellite multispectral and multitemporal imagery will provide valuable information on the impact of this

long-term mining activity on the environment. One of the first steps change detection methods were used to assess the short-term reclamation activities by examination of vegetation cover status in the areas surrounding the mine. To complete this tasks data from Landsat TM/ETM+ instruments combined with in-situ measured data was used. For data processing several techniques, both standard, such as basic and advanced statistics, image enhancement and data fusion, and novel methods for supervised classification were used. The results obtained show that used data and the implemented approach are useful in environmental monitoring and economically attractive for the company responsible for the ecological state of the region.

Въведение

Откритият добив през последните десетилетия доведе до голямо увеличение на размера на този тип минни изработки и съответно на добитите обеми руда. Дори в рамките на един рудник всеки ден се преместват големи обеми от скална маса и руда (50000-100000 тона). Вторият по големина европейски открит рудник за добив на мед през 80^{-те} години на 20в. е МОК Медет, България (11 милиона тона годишно). Основният му предмет на дейност е извличане и добив на мед, заедно с цялата съответна инженерингова и търговска дейност. Рудните находища, които се разработват по открит способ, и съпътстващите ги табани и хвостохранилища, са един от най-големите замърсители на околната среда в този регион. В това изследване се насочихме към наблюдение и изследване на екологичния статус около един от най-важните обекти за производство на мед за страната ни - Медет.

Целите на тази работа са: (1) да се анализират многоспектрални спътникови данни за периода 1972 – 2011 г., за да се оцени влиянието върху околната среда от минната дейност в извършвана в района на открит рудник Медет в рамките на посочения времеви интервал; (2) да се докаже, че с помощта на дистанционни изследвания и наблюдения е възможно да се направи комплексна оценка на въздействието върху околната среда.

След преустановяване на експлоатацията на рудник Медет през 1994 г. е създадена и започва програма за рекултивация на почвената покривка около котлована на рудника и прилежащата хидрографска мрежа. Всеки месец се публикува бюлетин за качеството на въздуха и водата и се разпространяват от местните власти. Тази политика за екологично чисто производство може да бъде подкрепена до голяма степен от данните, получени от апаратура за дистанционни изследвания с повишена пространствена и спектрална разделителна способност. В сравнение с данните от преди 20 години пространствената точност се подобри повече от два пъти, което може да доведе до подпомагането на вземане на по-добри решения при управления на дейността по рекултивация на терените около рудника ползвани за насипища и табани.

Считаме, че разкриването на потенциала на многоспектралните спътникови изображения, анализирани във времето, ще предостави ценна информация за въздействието на многогодишната дейност на минното предприятие върху околната среда. Един от индикаторите приложени за оценка на ефекта от проведените краткосрочните рекултивационни дейности е изследването на динамиката на площта и състоянието на растителната покривка в районите около рудника. За да изпълним тази задача бяха използвани данни от Landsat TM/ETM+, съчетани с данните от проведените на място измервания. За обработка на данните бяха приложени няколко метода, включващи както стандартни статистически обработки, подобряване на изображението и синтез на данните, така и нови методи за контролирана класификация. Получените резултати показват, че използваните данни и приложеният подход са полезни в наблюдението на околната среда и икономически изгодни за компанията, отговорна за екологичното състояние на региона.

Материали и методи

Районът на проучването – откритият рудник Медет – е избран по изображения от спътника Landsat. Минно-обогатителен комплекс Медет започва работа през декември 1964 г., а първият тон меден концентрат е експортиран през май 1965 г. Комплексът включва открит рудник, насипища, обогатителна фабрика, хвостохранилища и спомагателни съоръжения с капацитет за добив и преработка на 8 млн. тона руда годишно. По това време е най-големият открит рудник за мед в Европа и третият по големина в света. През 1994 г. откритият рудник е спрял от експлоатация. Оттогава, съгласно приетата програма, би трябвало да започне и рехабилитацията на района на бившия комплекс за добив, но този факт не се потвърждава от данните, които сме обработили. Медет през годините е представен на Фиг. 1(а-в). На Фиг. 2(а-г) са представени композитни изображения от Landsat TM/ETM+ (комбинацията от спектрални канали 7-4-2 подчертава в максимална степен скалната маса) за изучавания район през годините.



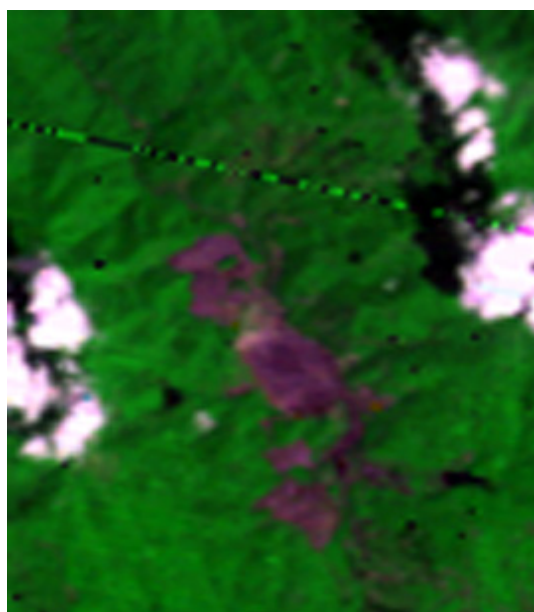
Фиг. 1а. Медет 1970



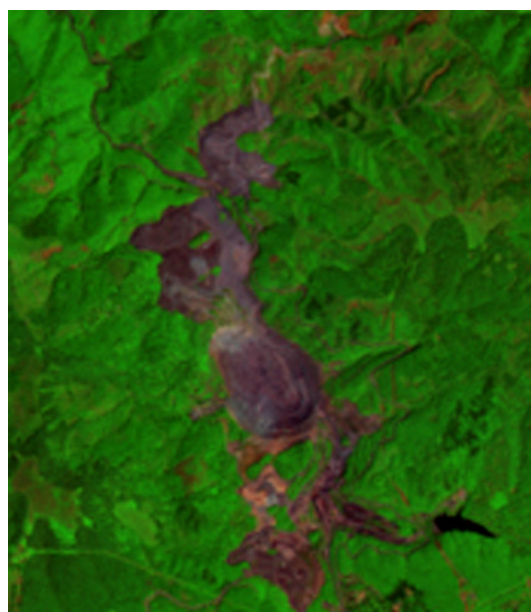
Фиг. 1б. Медет 1980



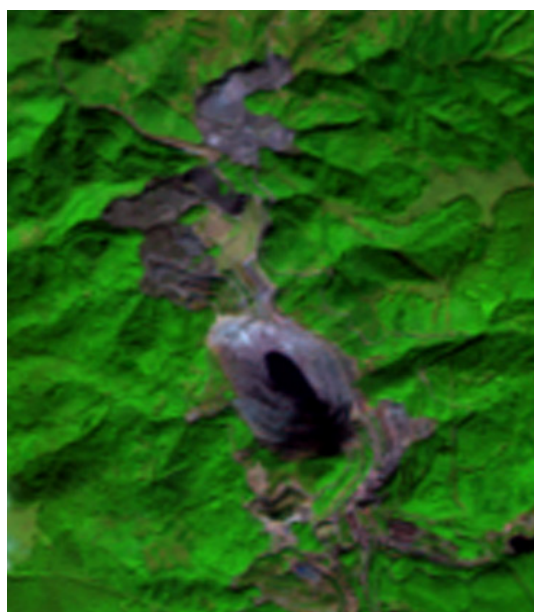
Фиг. 1в. Медет 1995



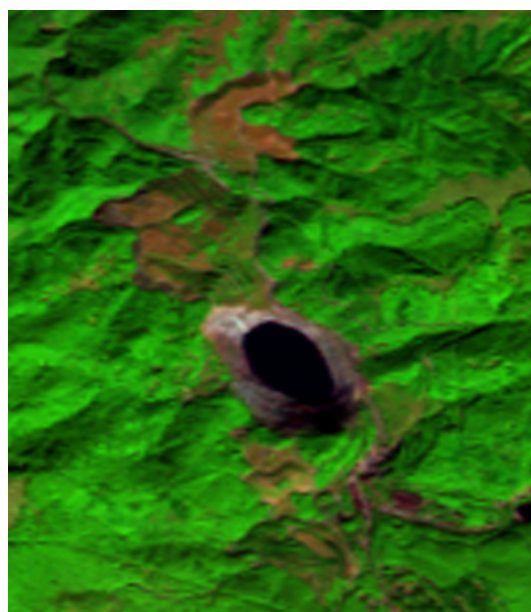
Фиг. 2а. Медет 1972



Фиг. 2б. Медет 1985

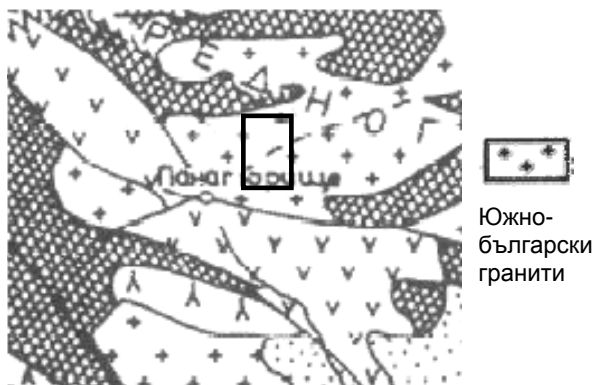


Фиг. 2в. Медет 1999

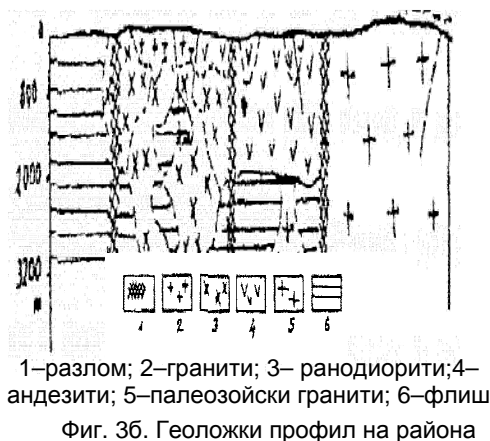


Фиг. 2г. Медет 2011

В рамките на изследването е използвана допълнителна геоложка информация във вид на структурна карта (Фиг. 3а), както и съответния геоложки профил (Фиг. 3б). С правоъгълник на Фиг. 3а е показан изследвания район. Основните вместилища скали за рудник Медет са южнобългарските гранити. Това е причината да се проведат полеви измервания на този тип гранити. По време на полевата работа са събрани образци от гранити и проби от кафяви почви и треви. Извършени са минерални и химични анализи на скалните и почвените проби, а също и теренни и лабораторни спектрални измервания за част от периода на наблюдение [1].



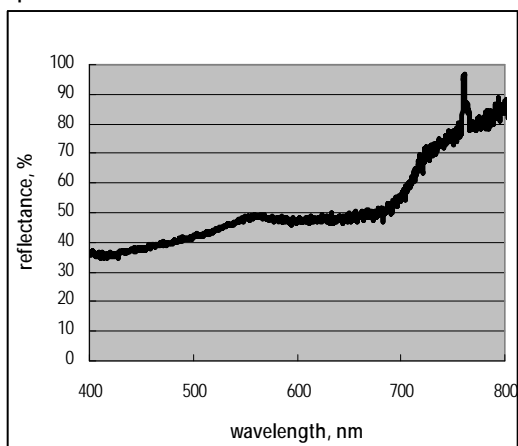
Фиг. 3а. Структурна карта на района



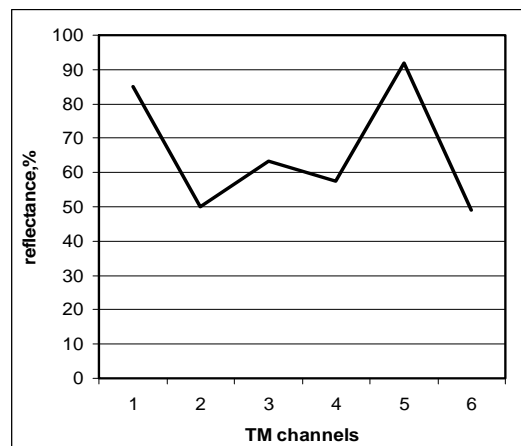
Фиг. 3б. Геоложки профил на района

На 10 km южно от гр. Златица, по пътя за гр. Панагюрище, се разкриват така нар. Южнобългарски гранитоиди, внедрени сред високометаморфните скали на Прародопската надгупа. Към Южнобългарските гранитоиди се отнасят интрузивни тела с палеозойска възраст, различни размери и състав, обособени в три интрузивни комплекса. Първият интрузивен комплекс включва гранити, гранодиорити и малки тела от кварцдиорити и диорити. Към този комплекс се отнасят Смиловенския, Поибренския и Хисарския плутон. В състава на втория интрузивен комплекс се включват амфибол-биотитови, биотитови гранити и левкогранити. Към този комплекс принадлежат Копривщенски, Клисурски и Мътенишки плутони. Третият интрузивен комплекс е представен от левкократаи, равномернозърнести биотитови, биотит-мусковитови и пегматоидни гранитоиди. Към този комплекс се отнасят Стрелчански, Каравеловски, Лесичовски и Вършилски плутони [2].

Описание на гранитните образци: Розово среднозърнести, състоящи се от фелдшпат и кварц, с незначителни количества биотит. Петрографско описание на гранитните образци: Съдържат средно 50% ортоклаз, 35% кварц, 15% плагиоклаз, 1% биотит и 1% магнетит. Плагиоклазът често преминава в серицит, докато биотитът може да претърпи промени в хлорит.



Фиг. 4а. Спектри на биотитов гранит (TOMS)



Фиг. 4б. Отражение от Landsat TM за 2006 г.

Описание на кафява пясъкливо-глинеа почва: Изходният материал е гранитна скала. Почвената проба е с неутрално рН (6.5), 1% органичен въглерод, 12% глина, 25% тиня и 62% пясък. Груба минералогия: 51% кварц, 31% калиев фелдшпат, 7% биотит, 6% непрозрачен, 2% плагиоклаз фелдшпат, 1% други, 1% амфибол и следи от циркон, опал, мусковит, хлорит и пироксен.

Полевите спектрални измервания бяха проведени със спектрометър TOMS (Thematically Oriented Multi-channel Spectrometer), проектиран и конструиран в секция Системи за дистанционни изследвания (СДИ) към ИКИТ-БАН в сътрудничество с държавния университет в щата Алабама, САЩ [3].

На Фиг. 4а е представено спектралното отражение в % като средна стойност от 100 измервания, получени с TOMS, при полеви експедиции за периода 2008-2011 г. Спектралното отражение от Landsat TM, също в %, на района на изследване за 1996 година е показан на Фиг. 4б. Тази година е избрана поради факта, че площите на открития рудник и на насипището са с максимален размер в рамките на период, който изследваме.

Резултати и дискусия

В Таблица 1 са представени броя на пикселите и съответните площи за открития рудник и за насипищата. Резултатите за двете области са доста различни, тъй като основните минни дейности от 1987 година се разпространяват в дълбочина, а не по площ. Наблюдаваната промяна в ландшафта в близост до мината се дължи най-вече на разширяването на пътищата, водещи до насипищата.

Таблица 1. Брой пиксели и съответните площи на рудника и насипището в изследвания район

	открит рудник	насипище
1987	942 пиксела	580 пиксела
	847 800 [m ²] *	522 000 [m ²] *
2000	984 пиксела	1070 пиксела
	885 600 [m ²] *	963 000 [m ²] *
Промяна	37 800 [m ²] *	441 000 [m ²] *
*площите са изчислени при пространствено разрешение 30m/пиксел		

Ситуацията за насипищата е точно обратната. Въпреки че рекултивацията им би трябвало да е започнала през 1996 г., ние не наблюдаваме никаква промяна към повишаване на плътността на растителността. Това заключение се основава на многоспектрални данни, използвани в това изследване, т.е. до 2000 година и се потвърждават и от данните по проект „Корин – земно покритие“ на ЕК за същата година (данните са от Европейската агенция за околна среда).

Както е посочено в [4], чрез дистанционни изследвания не е възможно да се оцени концентрацията или наличието на метални компоненти във водния обект формиран след преустановяване на отводняването на котлована. Това е причината, поради която единственият параметър, който бяхме в състояние да определим, е площта на водното тяло в продължение на няколко години, за да се оцени във промяната във времето [5]. Както установихме с лабораторни тестове на водни проби взети в същия район (на около 10 км от рудника), бе потвърдено наличието на следните метали - Al ≈ Cu >> Mn > Fe > Zn > Pb > Cd [6].

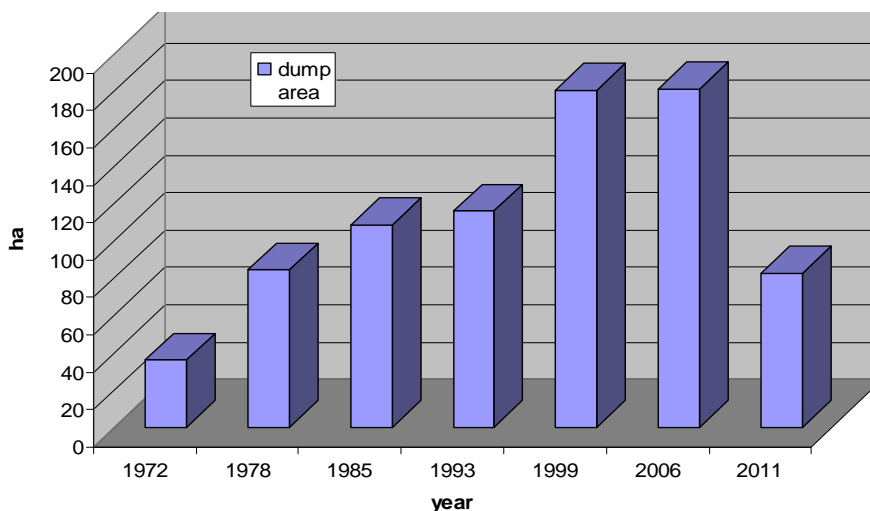
Таблица 2. Брой пиксели и съответните площи на рудника и водната площ в изследвания район

година	1972	1978	1985	1987	1992	1999	2006	2007	2011
открит рудник [ha]	79,5	81,9	94,1	125,5	112,5	98,6	102,9	96	101,5
вода [ha]	na.	na.	na.	na.	na.	12,9	26,2	28	36,3

Данните за наличието и динамиката на площта на водно тяло за периода включен в това изследване 1972-2011 са представени в Таблица 2. Те показват стабилно нарастване на площта на водното огледало, запълваща чашата на открития рудник. Това увеличение би трябвало да бъде взето под внимание и да се смята за тревожен сигнал, който доказва необходимостта от допълнително изпомпване на водата. Предполагаме, че би могло да има връзка между разширяването на водната площ и металните съединения, разтворени във

водата на река Медетска. Също така би трябвало в следващия проект „Корин – земно покритие“ този воден обект да се включи като клас 512, а не като клас 131, както е в момента [7].

На Фиг. 5 е представена промяната в площта на насипището в [ha] за периода 1972-2011 г., като част от окрития рудник Медет. Смятаме, че увеличаването е причинено от все по-голям рудодобив. През 2011 г. площта на насипището значително намалява, почти два пъти. Ние считаме, че причината за тази промяна са прилаганите процеси на рекултивация, декларирани от собствениците на "Асарел-Медет".



Фиг. 5. Площ на насипището на рудник Медет в [ha] за периода 1972-2011

Заклучение

1. Не се наблюдава намаляване на площта на района на открития рудник, а само сезонни вариации, което може да се счита за доказателство, че не е започнала рекултивация.
2. Намаляване на площта на насипището е регистрирано след 2006 г.
3. Започвайки от 1995 г., площта на водата в чашата на открития рудник Медет показва стабилно нарастване
4. Това изследване трябва да привлече вниманието на обществеността заради възможен голям риск, произтичащ от нарастването на обема на водата, което може да доведе до преливане през следващите години.
5. Планираме да използваме в наши следващи проучвания пасивна микровълнова радиометрия за наблюдение на диги като инструмент за оценка на съдържанието на влага в почвите и скалите около открития рудник, като по този начин се направи оценка на степента на разпространение на подземните води.
6. Настоящото изследване посочва необходимостта от регулярен мониторинг на водата в най-близките реки и извори за замърсяване с метални съединения.
7. Включване на водната площ в открития рудник като отделен клас 512 в следващата фаза на проекта CORINE земно покритие.

Литература:

1. Borisova, D., H. Nikolov and B. Banushev. In-situ and ex-situ measurements of igneous, sedimentary and metamorphic rocks for Earth observation data base complementation. Annual of UMG "St. Iv. Rilski", Part I: Geology and Geophysics, 52, Sofia, Publ. House "St. Iv. Rilski", 137-140, 2009.
2. Дабовски, Х., И. Загорчев, М. Русева и Д. Чунев. Палеозойски гранитоиди в Същинска Средна гора. Год. УГП, 16, 57-92, 1972.
3. Petkov, D., H. Nikolov and G. Georgiev. Thematically Oriented Multichannel Spectrometer (TOMS). Aerospace Research in Bulgaria, 20, 51-54, 2005.
4. Deliverable 4.1, ImpactMin FP7 Project. http://www.impactmin.eu/downloads/impactmin_d41.pdf
5. Nikolov, H. and D. Borisova. Long term monitoring of water basin of an abandoned copper open pit mine. EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-10171, 2012.
6. Rabadjieva, D., S. Teravitcharova, T. Todorov, et al. Chemical speciation in mining affected waters: The case study of Asarel-Medet mine. Environmental Monitoring and Assessment, 159(1-4), 353-366, 2009.
7. Kopecká, M., R. Vatsева, J. Feranec, J. Ořahel, A. Stoimenov, J. Nováček and V. Dimitrov. Changes in use of arable land in Slovakia and Bulgaria during the transformation period. <http://www.luccprague.cz/publications/prague2010/kopeccka.pdf>