



## Effects of grass fires on soil magnetic properties – a pilot study

*Petar Petrov and Diana Jordanova*

NIGGG-BAS, Acad. G. Bonchev str., bl.3, 1113 Sofia, petar\_petrov76@abv.bg, diana\_jordanova77@abv.bg

Ключови думи: екология, магнетизъм, почви, пожари, магхемит

### Abstract:

Pilot comparative magnetic study on two soil profiles (burnt by grass fire and original), developed on loess sediments in NW Bulgaria in the region of Koshava village, have been carried out. The aim of the investigation is to compare the magnetic characteristics of burnt and un-burnt soil in order to establish the character of the changes (mineralogical and structural) occurring after heating. Detailed sampling, carried out at each 0.5 cm along depth permits attaining high-resolution depth variations in different magnetic characteristics. A set of magnetic parameters were measured – magnetic susceptibility, frequency dependent magnetic susceptibility, anhysteretic remanence, isothermal remanence. Complex use of these parameters gives information about concentration, magnetic grain size and kind of ferromagnetic iron oxides in soils. It is found that in the uppermost one centimeter of soil depth all magnetic parameters are strongly enhanced in comparison with the virgin soil. The most significant is the increase in frequency dependent magnetic susceptibility, thus suggesting thermal production of ultra fine strongly magnetic particles. Increased intensity of the anhysteretic remanence points to appearance of a new fraction of stable single-domain magnetic particles in the upper 1 cm of the burnt soil. Deeper in soil profile, no enhancement with strongly magnetic secondary minerals was obtained.

## Изследване на ефекта от пожари върху магнетизма на почвите – предварителни резултати

*Петър Петров, Диана Йорданова*

НИГГГ – БАН, ул. Акад. Г. Бончев, бл.3, 1113 София, petar\_petrov76@abv.bg, diana\_jordanova77@abv.bg

### Увод

Огънят е играл съществена роля в еволюцията на Земята в продължение на милиони години. Средиземноморският тип климат, характерен и за немалка част от територията на България (Нинов, 2002) се характеризира с горещи сухи летни сезони, даващи благоприятни условия и горивен материал за запалване. Множество горски пожари се регистрират у нас през лятото (Velizarova et al., 2006). Огънят влияе върху почвите директно чрез топлинния поток и индиректно чрез премахването на растителността и мъртвата листна маса и добавянето на пепели. Ефектът от пожарите върху горските екосистеми в България се изучава основно за оценка на влиянието им върху почвения органичен въглерод (Filcheva and Velizarova, 2011), морфологията/текстурата (Bogdanov, 2012), основните химически и физико- химически свойства (Atanasova et al., 2009). Интензивните горски пожари предизвикват промени във всички почвени свойства (Certini, 2005), включително в окисите на желязото, които са известни като чувствителни индикатори за промени в околната среда (Cornell and Schwertmann, 2003). Отдавна установен е фактът, че повърхностните нива на засегнати от пожар почви се характеризират с увеличено количество от силномагнитния минерал магхемит (Tite and Mullins, 1971), който е продукт от термичната трансформация на слабо магнитния железен хидроокис гьотит (Ketterings et al, 2000; Clement et al., 2011).

Изучаването на историята на пожарите е важна част от разбирането за екосистемите в природата. Един от приносите на направлението магнетизъм на околната среда при изучаването на почвите е изследването на свойствата на почви засегнати от пожари или така наречените „горели почви”. Съвременните и древни пожари оказват влияние върху повърхностните хоризонти на почвите, водейки до изменения и в минералогията на железните окиси, а следователно и в магнитните им свойства. В резултат на действието на пожари се наблюдава силно увеличение на характеристиката „магнитна възприемчивост” в почвите (Ketterings et al., 2000; Gedye et al., 2000; Oldfield&Crowther, 2007; Clement et al., 2010; Reyes et al., 2013). Тук трябва да се има предвид и факта, че естественото педогенно развитие на добре аерираните почви също води до обогатяване на горните почвени хоризонти с фини силно магнитни частици (Maher, 1998), като се дискутират няколко



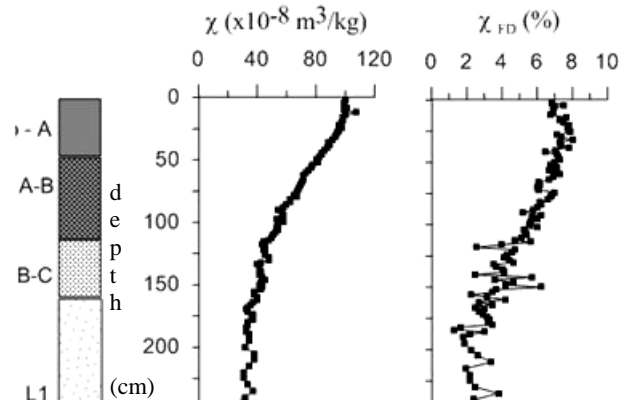
хипотези за точния механизъм на образуването им (Dearing et al., 1997; Torrent et al., 2006). Oldfield & Crowther (2007) демонстрират, че изследването на различни магнитни параметри, свързани с концентрацията и размера на тези фини частици, успешно разграничава почвите, засегнати от пожари, от тези естествено обогатени с магнитни минерали. Механизмът на промяната на магнитните минерали на повърхността при нагряването още не е добре изучен, но една от причините е превръщането на хидроокиси, като лепидокрит или гьотит в кислородна среда и висока температура, в силно магнитна фаза от магнетитов тип. Дълбочината в почвата, на която оказва въздействие температурата от горенето е строго индивидуална. Преди всичко зависи от вида растителност, като тревистите и храстовидни растения достигат температура на горене около 300-400°C, докато при дървесните видове тази температура е около и над 600°C. Количеството на органично вещество, влажността и окислително-редукционните условия също имат значение за формирането на вторични минерали.

### Методология на изследването

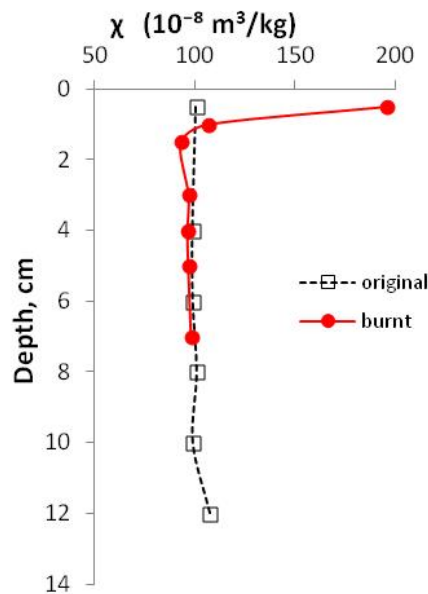
Изследвани са два почвени профила, опробвани в близост до с. Кошава (Видинско) – единият от естествена почва, а другият от опалвана на повърхността почва. Двата профила се намират в непосредствена близост, като опалената почва е опробвана от обработваема нива, вероятно подложена на преднамерен пожар за премахване на миналогодишните остатъци от отглеждани култури. С помощта на неметална шпакла са взети проби през 0.5 см в дълбочина от профила на опожарената почва и през 2 см от естествената почва. Пробите са изсушени на въздух. В лабораторни условия почвения материал е пресят през сито с размер на отвора 1 мм. Така приготвеният материал е използван за магнитни измервания. Измерени са следните магнитни параметри: магнитна възприемчивост ( $X$ ) и честотно-зависима магнитна възприемчивост ( $X_{fd}$ ) измерени съответно на капа-мост KLY-2 (AGICO, Czech Rep.) и капа-метър Bartington MS2C (Bartington Inc., UK). Направени са кубични образци с размер на страната 0.5 см, използвайки почвен материал с маса 0.2 гр. и гипс. Върху така подготвените образци са индуцирани безхистерезисна остатъчна намагнитеност (ARM) и изотермична остатъчна намагнитеност (IRM) с поле до 5Т. Пресметнати са различни съотношения на измерените магнитни параметри ( $ARM/X$ ,  $IRM/X$ ,  $X_{fd}\% = (X_{lf} - X_{hf})/X_{lf} * 100$ ), които са използвани като индикатори за магнитния размер на частиците (Thompson and Oldfield, 1986).

### Резултати

Магнитната възприемчивост отразява способността на веществото да се намагнитва в присъствие на слабо магнитно поле и следователно, зависи главно от концентрацията на силно магнитните частици (Dunlop and Ozdemir, 1997). На Фиг. 1 са показани вариациите на магнитната възприемчивост ( $X$ ) и процентът честотно-зависима магнитна възприемчивост ( $X_{fd}\%$ ) за естествения профил на почвата до достигане на С-хоризонта (почвообразуваща скала). Както се вижда, хумусният и преходният хоризонти, засегнати от естествените педогенни процеси, се характеризират с повишени стойности на магнитната възприемчивост поради обогатяването им с педогенни окиси на желязото. В дълбочина  $X$  постепенно намалява, отразявайки затихването на процесите на почвообразуване, и в льосовия материал (С-хоризонта за почвата)  $X$  има ниски стойности, от порядъка на  $30 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  (Фиг. 1). На Фиг. 2 са показани вариациите в дълбочина на магнитната възприемчивост само за горните 15 см от двата профила (горяла и негоряла почва). От Фиг. 2 се вижда, че в повърхностния слой до около 1 см магнитната възприемчивост е почти двойно по-висока за опалваната почва в сравнение с тази на незасегнатата. Това най-вероятно се дължи на превръщането на слабо магнитни хидроокиси във фази на по-силно магнитни минерали, като магнетит или магхемит, както и увеличаването на магнитната фракция за сметка на парамагнитни минерали (Clement et al., 2011). Подобни резултати са наблюдавани и от други автори, като нарастването на магнитната възприемчивост е характерно за различни типове почви.

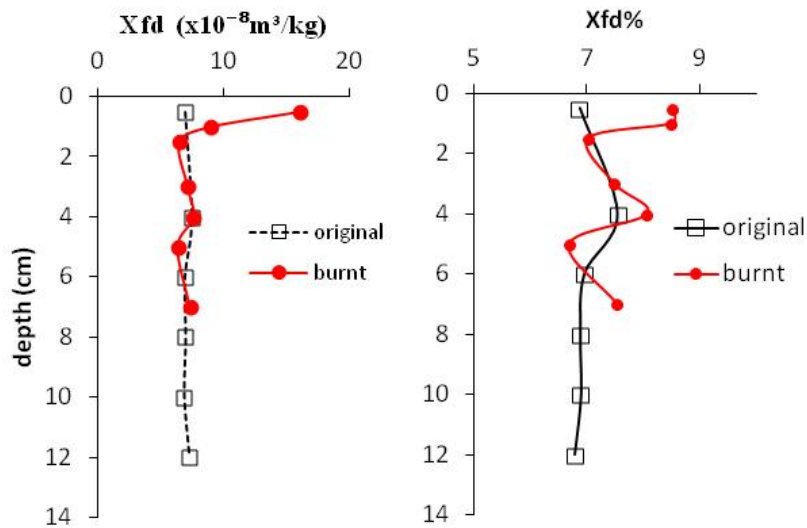


Фигура 1. Вариации на магнитната възприемчивост ( $\chi$ ) и процента честотно-зависима магнитна възприемчивост ( $\chi_{fd}\%$ ) в дълбочина по профила на негорялата почва. Показана е литоложката колонка с означени идентифицираните почвени хоризонти: А-хумусен, А-В – преходен; В-С – преходен към почвообразуващия субстрат; L1 – почвообразуващ субстрат, представен от първи льосов хоризонт L1.



Фигура 2. Вариации на магнитната възприемчивост ( $\chi$ ) в дълбочина по профилите на горялата и негорялата почва за горните 15 см от профилите.

Наличието на фини частици с нано-размери се установява в изследванията на магнетизма на скалите чрез т.нар. честотна зависимост на магнитната възприемчивост (Mullins and Tite, 1973), а най-широко използвания параметър е процентът честотно-зависима магнитна възприемчивост  $X_{fd}\%$ , който се дефинира по следния начин:  $X_{fd}\% = 100 \cdot (X_{LF} - X_{HF}) / X_{LF}$ .  $X_{LF}$  и  $X_{HF}$  означават съответно магнитната възприемчивост, измерена при ниска и при висока работна честота на приложеното слабо магнитно поле. Съгласно емпиричния модел, предложен от Dearing et al. (1996), стойности на  $X_{fd}\% < 2$  показват практически липсата на фини суперпарамагнитни частици в изследвания материал и доминиращия принос на стабилни многодоменни частици,  $2 < X_{fd}\% < 6$  съответства на наличие на смес от суперпарамагнитни и стабилни частици, докато в материалите, за които  $X_{fd}\% > 6$  доминира фракцията фини суперпарамагнитни частици.

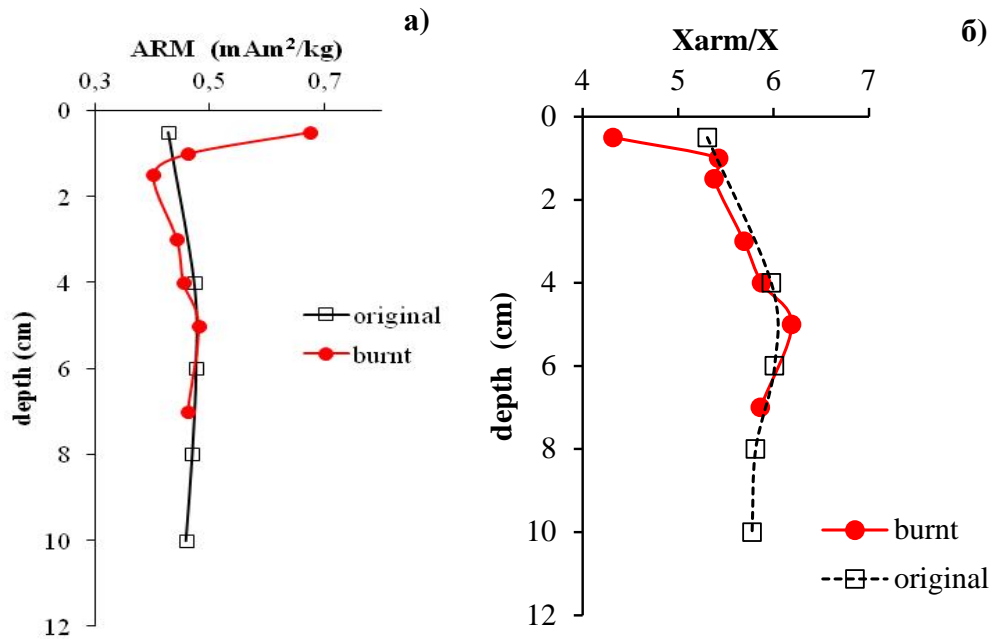


Фиг.3 Честотно зависима магнитната възприемчивост ( $X_{fd}$ ) и процент честотно-зависима магнитна възприемчивост ( $X_{fd}\%$ ), измерени за двата почвени профила.

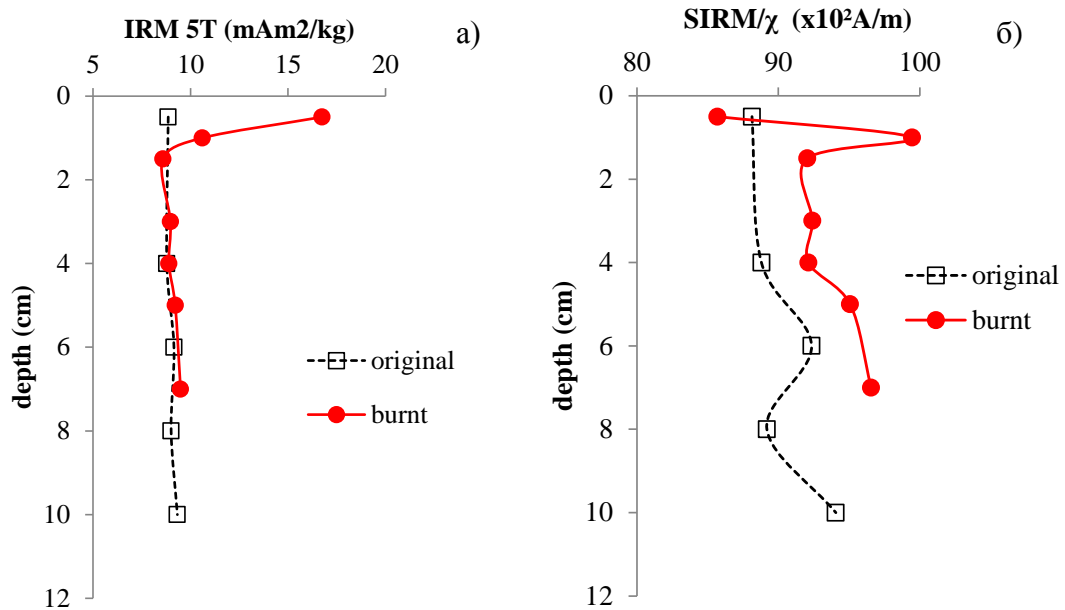
Както се вижда от Фиг.3, големината на честотно-зависимата магнитна възприемчивост ( $X_{fd}$ ) за горялата почва е значително по-висока от стойността за негорялата почва в най-горния почвен слой. Това показва, че се увеличават абсолютното количество фини (суб-микронни) суперпарамагнитни частици. Процентът честотно-зависима магнитна възприемчивост ( $X_{fd}\%$ ) показва относителния принос на суперпарамагнитните частици в общия ансамбъл магнитни частици в двата профила. Както се вижда (Фиг. 3), за горялата почва  $X_{fd}\%$  е над 8%, което съгласно Dearing et al. (1996) показва доминиращото влияние на най-фината фракция магнитни частици в горните части на профила. Безхистерезисна остатъчна намагнитеност (ARM) се използва за оценка на концентрацията на магнитно стабилни еднородни (SD) частици (Dunlop and Ozdemir, 1997). От получените резултати за ARM (Фиг. 4а) се вижда, че за профила от горялата почва са налице по-високи стойности в приповърхностния слой, което показва, че значително се е увеличила фракцията с еднородни (SD) размери. За дълбочини под 3 см, стойностите на ARM за опожарената почва и за естествена почва съвпадат.

Изчислено е отношението  $\chi_{ARM}/\chi$  с цел да се премахне влиянието на концентрацията на частици със суперпарамагнитни и многодомени размери. От Фиг.4б се вижда, че минималната стойност на отношението е получена за най- горната част на профила, което означава, че в този дълбочинен интервал преобладават магнитните частици със суперпарамагнитни размери, които не могат да носят остатъчна намагнитеност. Това се потвърждава и от резултатите за честотно- зависима магнитна възприемчивост ( $X_{fd}$ ) (Фиг. 3). Отново в дълбочина вариациите на ARM и на  $\chi_{ARM}/\chi$  за двата профила се припокриват (Фиг. 4).

Изотермичната остатъчна намагнитеност IRM се придобива от магнитно стабилните частици при прилагане на постоянно магнитно поле. Големината на IRM зависи от вида на магнитните минерали и в по-малка степен от техните размери (Dunlop and Ozdemir, 1997). Нормирането на изотермичната намагнитеност с магнитната възприемчивост намалява влиянието на концентрацията върху стойностите на IRM и позволява да се оцени ефективния магнитен размер на частиците в областта на по-едрите размери (псевдоеднородни и многодомени) (Dunlop and Ozdemir, 1997).



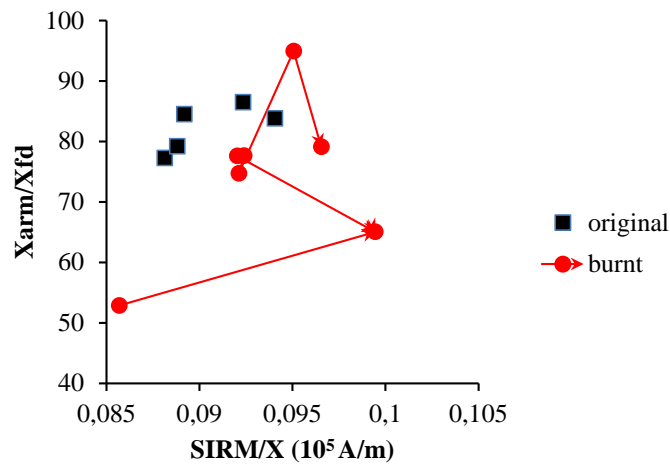
Фигура 4. Вариации на: а) безхистерезистна остатъчна намагнитеност (ARM) и б) отношението  $X_{arm}/X$  в дълбочина по двата почвени профила.



Фигура 5. Вариации на: а) изотермичната остатъчна намагнитеност (IRM 5T) и б) отношението  $SIRM/\chi$  в дълбочина по двата почвени профила.

На Фиг.5 са показани измененията изотермичната остатъчна намагнитеност (IRM 5T) и отношението  $SIRM/\chi$ . Отново се потвърждава обогатяването на най-горния тънък слой (0-1) см и с по-едри PSD-MD частици, както личи от силно завишените стойности на IRM 5T в горялата почва (Фиг. 5а). Въпреки много близките стойности на IRM 5T за по-дълбоките нива (2-10 см), отношението  $SIRM/\chi$  се различава за горялата и естествената почви (Фиг. 5б). В горялата почва се наблюдава минимална стойност в повърхностния слой (0-0.5 см) и последващ силно изразен максимум в  $SIRM/\chi$  за дълбочина 1см. В по-дълбоките части на профила отношението запазва систематично по-високи

стойности в сравнение с тези за негорялата почва (Фиг. 5б). Тези изразени закономерности говорят за разлика в големината на магнитния размер на частиците в областта PSD-MD по цялата дълбочина на изследваните профили.



Фигура 6. Зависимост на отношението  $X_{arm}/X_{fd}$  от  $SIRM/X$  за горялата и негорялата почви. За горялата почва точките са свързани в последователността на дълбочината им.

На Фиг. 6 е показана зависимостта между две магнитни отношения:  $X_{arm}/X_{fd}$ , което отразява относителните вариации в съдържанието на SD и SP частици; и  $SIRM/X$ , което зависи от размера на частиците в областта на по-едрите размери (PSD-MD). От предствената зависимост става ясно, че повърхностното ниво (0-0.5 см) рязко се откроява по своите магнитни характеристики както от по-дълбоките нива в профила, така и в сравнение с профила на негорялата почва (Фиг. 6). Ниската стойност на  $SIRM/X$  и на  $X_{arm}/X_{fd}$  за тази точка отново показва доминиращото присъствие на фини суперпарамагнитни частици. Силната промяна и в двете отношения за дълбочината 0.5-1.0 см (втората точка от профила на горялата почва) (Фиг. 6) се дължи на рязка промяна в съотношението на отделните фракции частици – силно се увеличава приносът на стабилните еднодомени частици и на по-едрите псевдо- и многодомени частици. Групирането на останалите точки от двата профила за по-дълбоките нива показва сходните разпределения във фракциите SD и SP частици, и известна разлика в съдържанието на по-едрите частици, което се вижда и от Фиг. 5б.

## Дискусия

Горските пожари оказват влияние върху редица свойства на почвите – физични, химични, минералогични, биологични. Контролираните пожари, използвани при управлението на горите, обикновено имат слаба до средна интензивност, и фактически съдействат за подновяването на доминиращата растителност чрез премахване на нежеланите видове и краткотрайно повишаване на реакцията на почвата (pH) и хранителните вещества (Certini, 2005). Обикновено пожарите засягат най-горната част от почвата до дълбочина 6-8 см, като при това настъпват промени и в минералогията на окисите на желязото. Естествените педогенни (хидро)окиси на желязото се образуват при типични за повърхността на Земята условия, поради което са подложени на термични трансформации при въздействие на по-високи температури. Продукт от тези трансформации най-често е магнитният минерал магхемит ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), който се явява трансформационен продукт на хидроокисите гьотит, лепидокрокит, ферихидрит в присъствието на органично вещество (Cornell and Schwertmann, 2003; Hanesch et al., 2006).

Настоящата работа представя пилотно изследване на горяла почва от Северозападна България, чиито свойства са сравнени с тези на негоряла почва, опробвана в непосредствена близост до нея. Провеждането на много детайлно разделяне на взетите проби според дълбочината (през 0.5 см) позволи изследването на магнитните свойства с висока разделителна способност. Както се вижда от получените резултати, процесите на горене най-силно засягат повърхностния 0.5 сантиметров



слой. За сравнение, Roman et al., 2013, изследвайки магнетизма на горели прерийни почви от САЩ, използват дълбочинна стъпка 1 см., дори 2 см за един от локалитетите, което вероятно оказва влияние на получените от тези автори резултати, тъй като смесването на материала от 0.5 и 1 см (2 см) би довело до значително снижаване на магнитния сигнал, както се вижда от нашите данни.

В съгласие с множеството публикувани работи върху магнетизма на горели почви от други страни (Ketterings et al., 2000; Gedye et al., 2000; Oldfield and Crowther, 2007; Clement et al., 2010; Reyes et al., 2013), и за изследваната почва от района на Видин се потвърждава силното магнитно обогатяване на повърхностния почвен слой с фини суперпарамагнитни и еднодоменни частици. Само най-горните 1.5-2.0 см от почвата показват свойства, различни от тези за негорялата почва, свързани с магнитно обогатяване. Един засега неизяснен въпрос остава наблюдаваната разлика в параметъра SIRM/X за двете почви, която се запазва и до дълбочина 12 см. Един възможен ефект е разпространението на топлината от пожара в дълбочина да води до повърхностно окисление на магнетитовите частици, което ефективно се отразява като намаляване на магнитния им размер (Van Velzen and Zijdeveld, 1992). В бъдещи изследвания е важно да се изследват магнитните свойства на горели и негорели почви до по-голяма дълбочина, за да може да се реши този проблем.

### **Заклучение**

Изследваните почви са от черноземен тип, те се развиват при наличие на степна растителност и следователно, основният източник на горивен материал за пожара е тревиста и храстовидна растителност. Това предполага, че максималната температура, която се достига по време на опалването е сравнително ниска. Въпреки това се наблюдават значителни изменения на всички изследвани магнитни параметри на засегнатия от опалването слой. В нашите изследвания този слой е с дебелина около 1 см и в него настъпват значими промени свързани с минералния състав на почвата. Тези промени са свързани с температурните трансформации на хидроокисите на желязото по време на нагряването и превръщането им във феримагнитен минерал от магнетитов тип. Нужни са допълнителни изследвания за определяне на вида на нововъзникналата минерална фаза (магнетит или магхемит). Установено е наличието на различни фракции частици в зависимост от магнитния им размер в дълбочина. В най- горния слой до 0.5 см преобладават магнитни частици с размери на зърната в субмикронната област, а в по-дълбокия слой до около 1 см частиците са в стабилно еднодоменно (SD) и псевдоеднодоменно (PSD) състояние.

### **Благодарности**

Представените изследвания са направени с финансовата подкрепа на договор ДФНИ К02/13 към ФНИ на тема „Огънят в древността, регистриран в археологическите останки и почвите – магнитни изследвания в полза на археологията и почвознанието”.

### **Литература**

- Atanassova, I., Teoharov M., Ivanov P., 2009. Characterisation of a fire affected catena sequence from Lyulin mountain, Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15 (No 4), 333-340.
- Bogdanov, S., 2012. Forest fire influence on soil texture in burned forests in Bulgaria. *FORESTRY IDEAS*, vol. 18, No 2 (44):155-162.
- Certini, G., 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143, pp. 1-10.
- Clement, B.M., Javier, J., Sah, J.P. & Ross, M.S., 2011. The effects of wildfires on the magnetic properties of soils in the Everglades, *Earth Surf. Process. Landforms*, 36, 460-466.
- Cornell, R.M., & Schwertmann, U., 2003. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses*. Wiley, New York.
- Dearing, J., Dann, R., Hay, K., Lees, J., Loveland, P., Maher, B., O'Grady, K., 1996. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental material. *Geophys. J. Int.*, 124, 228-240.
- Dearing, J., Bird, P., Dann, R., Benjamin, S., 1997. Secondary ferrimagnetic minerals in Welsh soils: a comparison of mineral magnetic detection methods and implications for mineral formation. *Geophys. J. Int.*, 130, 727-736.
- Dunlop, D. & Ozdemir, O., 1997. *Rock Magnetism. Fundamentals and frontiers*, Cambridge Studies in Magnetism, Cambridge University Press, 291.



- Filcheva, E., Velizarova, E., 2011. Effects of Forest Fires on the Organic Matter of Soils in Plana and Ihtimanska Sredna Gora Mountains. *Soil Sci. Agrochemistry and Ecology*, XLV, Supplement 1-4, 59-63.
- Gedye S.J., Jones R.T., Tinner W. , Ammann B., Oldfield F., 2000. The use of mineral magnetism in the reconstruction of fire history: a case study from Lago di Origlio, Swiss Alps. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164, 101–110
- Hanesch, M., Stanjek, H., Petersen, N., 2006. Thermomagnetic measurements of soil iron minerals: the role of organic carbon. *Geophys.J.Intern.*, 165, 53-61.
- Ketterings Q., Bigham, J., Laperche V., 2000. Changes in Soil Mineralogy and Texture Caused by Slash-and-Burn Fires in Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 1108–1117.
- Maher, B.A., and Taylor, R.M., 1988, Formation of ultra fine-grained magnetite in soils. *Nature*, v. 336, p. 368–370, doi: 10.1038/336368a0
- Maher, B.A., 1998, Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: Paleoclimatic implications: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 137, p. 25–54, doi: 10.1016/S0031-0182(97)00103-X.
- Ninov, N., 2002. Soils. In: *Geography of Bulgaria*. Eds. Koprlev, I., Yordanova, M., Mladenov, Ch., Institute of Geography – Bulg. Acad. Sci., ForCom, Sofia, 277-317.
- Oldfield F., Crowther J., 2007. Establishing fire incidence in temperate soils using magnetic measurements. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 249, 362–369.
- Reyes B., Carrancho A., Gogichaishvili A., Quintana P., Bautista F., Morales J., Faust5 B., 2013. Influence of agricultural burning on magnetic properties in Maya Milpas. *Latinmag Letters*, Volume 3, Special Issue (2013), OD08, 1-4. *Proceedings Montevideo, Uruguay*.
- Roman S., Johnson W. and Geiss Ch., 2013. Grass fires—an unlikely process to explain the magnetic properties of prairie soils. *Geophys. J. Int.*, 195, issue 3, 1566-1575
- Thompson R. and Oldfield, F., 1986. *Environmental Magnetism*. Allen&Unwin Ltd. UK
- Tite, M.S., and Mullins, C.E., 1971. Enhancement of the magnetic susceptibility of soils on archaeological sites. *Archaeometry* 13 (2), 209–219.
- Torrent, J., Barrón, V., Liu, Q.S., 2006. Magnetic enhancement is linked to and precedes hematite formation in aerobic soil. *Geophys. Res. Lett.* 33, L02401.
- Velizarova E., Marinov I. Ts., Konstantinov V., 2006. Forest fires - dynamics, assessment and ecological consequences. *FOREST SCIENCE*, NO 1.