

Изменение на съдържанието на азот в засегнати от пожар горски почви под различни дървесни видове от района на Югоизточна България

Емилия Велизарова*, Ибрахим Молла

Институт за гората – БАН, София

Българска академия на науките

Email: velizars@abv.bg

Резюме

В настоящото проучване е изследвано съдържанието на азот в канелени горски почви (Chromic Luvisols) от района на Източни Родопи и Южните склонове на Сакар планина под различни дървесни видове, засегнати от горски пожари. Почвените проби за анализ са взети от 0 до 5 cm и от 5 до 20 cm дълбочина от засегнати и незасегнати от пожар почви, както непосредствено след влиянието на пожар, така и в динамика до една година след пожар. Взети са проби и от постилките с шаблон 25 cm x 25 cm. Анализирани са измененията в съдържанието на азот и е определено съотношението на C:N. Установени са нееднородни изменения в съдържанието на азот в изследваните почви под различни дървесни видове. Резултатите показват, че горските пожари предизвикват по-големи изменения в съдържанието на азот в повърхностния 5 cm слой на почвата. Установено е увеличаване на съдържанието на азот в почвата под засегнатата от пожар култура от черен бор с $\Delta N = 0,044\%$ ($\pm 0,013$), докато в почвата от насаждението от дъб и културата от бял бор, съдържанието на азот намалява съответно с $\Delta N = -0,076\%$ ($\pm 0,012$) и $\Delta N = -0,025\%$ ($\pm 0,008$). Горските пожари водят до намаляване на съдържанието на азот в постилките и при трите изследвани дървесни вида, но най-значимо е намалението при дъбовото насаждение - с 0,184 % ($\pm 0,024$) спрямо контролата. Промените които настъпват в съдържанието на азот в почвата и горската постилка водят и до изменения на отношението на C:N непосредствено след пожар, а в динамика измененията се запазват до три месеца.

Ключови думи: пожар, канелени горски почви, азот, C:N, дървесни видове

Nitrogen content changes in fire-affected forest soils under different tree species in region of Southeast Bulgaria

Emiliya Velizarova, Ibrahim Molla

Forest research institute – BAS, Sofia

Email: velizars@abv.bg

Abstract

In the present study, the content of nitrogen in Chromic Luvisols from the Eastern Rhodopes and the southern slopes of Sakar Mountain, under various tree species affected by forest fires, was investigated. Soil samples for analysis were taken from 0 to 5 cm and from 5 to 20 cm of soil layers of affected and non-fire-affected soils, immediately after the fire impact and in dynamics of up to one year. Samples were also taken from the litter with a 25 cm x 25 cm pattern area.

The changes in the nitrogen content were determined and the ratio of C: N was estimated. The

changes in the nitrogen content of the studied soils under different tree species were found to be rather variable. The results show that forest fires cause greater changes in nitrogen content in the surface 5 cm soil layer. An increase in the mean nitrogen content of the soil under the Austrian Pine plantation with $\Delta N = 0.044\%$ (± 0.013) was found, whereas in the soil from the oak stand and Scots pine plantation, the nitrogen content decreased with mean nitrogen content changes $\Delta N = -0.076\%$ (± 0.012) and $\Delta N = -0.025\%$ (± 0.008) respectively. The fires led to nitrogen content decrease in the forest litter from all studied tree species areas, but the most significant is that from oak stand by 0.184% (± 0.024) relative to the control. The changes occurring in the nitrogen content of the soil and the forest bed also lead to changes in the ratio C:N immediately after a fire, and in dynamics the changes are maintained for up to three months.

Key words: forest fire, Luvisols, nitrogen, C:N, tree species

Съдържанието и достъпността на органичните и неорганичните форми на азота са тясно свързани с биологичната продуктивност на екосистемите (Knicker, 2011). Възникването и разпространението на пожари в горските екосистеми, значително променя цикъла на азота и в почвата, като компонент на екосистемата. Въздействието на пожарите може да бъде пряко, чрез освобождаване на големи количества азот под формата на газове (NO_x) по време на изгаряне на биомасата в дървостоя и горската постилка (Guinto et al., 1999a, 2000; Velizarova et al., 2006; Hosseini Bai et al., 2012, 2013) и косвено, чрез изменение на биологичните свойства на почвата (Guinto et al., 1999b, 2001; Doerr, Cerda 2005; Velizarova et al., 2014b). Измененията, които настъпват в съдържанието на азот в почвите, засегнати от пожар варират в зависимост от теренните условия, характеристиките на пожара и състава на насажденията (Nave et al., 2011). В резултат на влиянието на пожара е установено, че съдържанието на азот в повърхностния слой на почвата може да се повиши в резултат на натрупване на частично изгорели растителни остатъци (Nye, 1964; Smith, 1970; Knicker et al., 2005; Velizarova, Tashev, 2008; Poirier et al., 2014) и повишаване на фиксацията на азот в почвата (Greene, 1935, Jorgensen, 1971, González-Pérez et al., 2004). Повишено съдържание на азот в повърхностните 3 cm на почвата непосредствено след пожар е установено от Grove et al., (1986), Knicker et al., (2005), в засегнати от низов пожар Кафяви горски почви с доминиращ дървесен вид морски бор (*Pinus pinaster* Aiton) (Czime-

zik et al., 2003) и бял бор (*Pinus sylvestris* ssp. *sibirica* Lebed). При изследване на Канелени горски почви (Hromic Luvisols) под засегнати от върхов пожар култури от Черен бор (*Pinus nigra* Arn.) от района на Сакар планина Velizarova et al., (2003) установяват, че съдържанието на азот може да се запази почти непроменено до 8 месеца след влиянието на върхов пожар.

От друга страна е установено, че пожарите с по-голяма интензивност могат да предизвикат намаляване на съдържание на азот в почвата. Загуба на азот от повърхностния слой на почвата поради изгаряне на биомасата е остановено от (Murphy et al., 2006; Neary, Overby, 2006; Rovira et al., 2012; Velizarova et al., 2014b; Quintero-Gradilla et al., 2015). Подобни резултати за намаляване на съдържанието на азот и запазване на тенденцията до две години след влиянието на пожара е установено от Velizarova, (2014). Въпреки, че пожарите със силно въздействие водят до намаляване на общото количество на азота, то количеството на усвоимите му форми може да се увеличи (Vlamiš, 1955). Според Wang et al., (2014) горските пожари водят до повишаване на минерализацията на общия азот в краткосрочен план, като ефекта се запазва до 3 години след пожар.

Измененията, които настъпват в почвеното органично вещество след пожар водят и до промяна в отношението C:N, което е важен показател за степента на разлагане на органичните остатъци и в резултат на което, контролира и степента с която се освобождават азота и другите хранителни елементи жизнено необходими на растителността (DeBano, 1991;

Velizarova et al., 2010; Osman, 2013). Установено е, че влиянието на горските пожари може да доведе до намаляване на съотношението C:N в горската постилка и минералните слоеве на почвата (González-Pérez, 2004; Badia et al., 2014; Kolka et al., 2014; Araya et al., 2016) или до неговото увеличаване в зависимост от предизвиканите промени в съдържанието на въглерод и азот (Rubenacker et al., 2012). В някои изследвания не са установени изменения в съотношението C:N в почвата в резултат от въздействия на горските пожари (Boerner et al., 2009; Certini et al., 2011). Промените на цикъла на азота в екосистемите мога повлияят върху тяхната продуктивност, видов състав и да доведат до сукцесии (Raison et al. 1993; Reich et al., 2001). Тези промени от своя страна водят до промяна на цикъла на азота в дългосрочен план (Wan et al., 2001). Основните фактори, които определят поведението и съдържанието на азот в почвата след въздействие от горски пожар са дървесният вид, силата на въздействие на пожара, количеството на растителните остатъци на повърхността на почвата, почвеното различие (Wang et al., 2014; Berber et al., 2015; Velizarova, 2014; Bogdanov, 2015). Необходими са допълнителни проучвания в динамика за да се изяснят протичащите процеси в засегнатите от пожар горски територии.

Целта на настоящето изследване е да се установи съдържанието на азот в почви под различни дървесни видове, засегнати от пожар, както непосредствено след влиянието на пожара така и в динамика.

Материал и методи

Характеристика на опитните площи

Избрани са 3 обекта на изследване: Обект 1 - култура от черен бор (*Pinus nigra* Arn), Обект 2 – насаждение от космат дъб (*Quercus pubescens* Wild) и Обект 3 – култура от бял бор (*Pinus sylvestris* L), засегнати от пожари през август 2013 г. Подробна характеристика на изследваните обекти е дадена в статиите на Molla, (2014) и Molla, Velizarova, (2015).

Пробите за анализ от минералната част на почвата са взимани по същия начин, както за определяне на въглерод – в три повторения от засегнати от пожар култури от черен бор от района на община Минерални бани (Източни Родопи), обозначени с В1, В2 и В3 и съответните контролни варианти – К1, К2 и К3 (Обект 1). Вариантите на засегнатите от низов пожар насаждение от дъб са обозначени с Н1, Н2, Н3, а в култура от бял бор с Н4, Н5 и Н6 и двата от района на община Свиленград (Сакар). Контролните им варианти от незасегнати от пожар гори са обозначени съответно с К4, К5, К6, (за Обект 2) и К7, К8 и К9 (за Обект 3) (фиг. 1). Почвените проби са взимани непосредствено след пожара и в динамика след него, како е описано от Molla, (2014) и Molla, Velizarova, (2015). Образци от почвената постилка са взимани с шаблон 25 x 25 cm, изсушена и подготвена за анализ по методика Donovan et al., (1971).

Определение на съдържанието на азот в почвата и постилката

Съдържанието на общ азот (Нобщ) в почвата е определено по метода Келдал (Donov et al., 1971). Определени са разликите между съдържанието на азот в контролния вариант и съответните засегнати от пожар варианти по формулата $\Delta N\% = \text{Нобщ засегнат от пожар вариант} - \text{Нобщ контрола}$. Съдържанието на общ въглерод (Собщ) в почвата е определено по метода на Тюрин (Donov et al., 1971). Изчислени са отношението на C:N в почвата по формулата $C:N = (C\% \times 1,17) / N\%$ въз основа на атомните отношения (Orlov, Grishina, 1981).

Статистическата обработка на данните е направена с помощта на дескриптивната статистика. Приложен е сдвоен тест на Стюдънт (“Paired two sample for means” t-test) за проверка на хипотеза за значими различия между количеството на азота във вариантите, засегнати от пожар и съответните контролни варианти (Vandev, 2003; Moore, McCabe, 2009; Winter, 2013). Резултатите за значими различия са проверени при ниво на доверие 95%. За целта е използван софтуер Excel (data analysis).

Основните характеристики на обектите

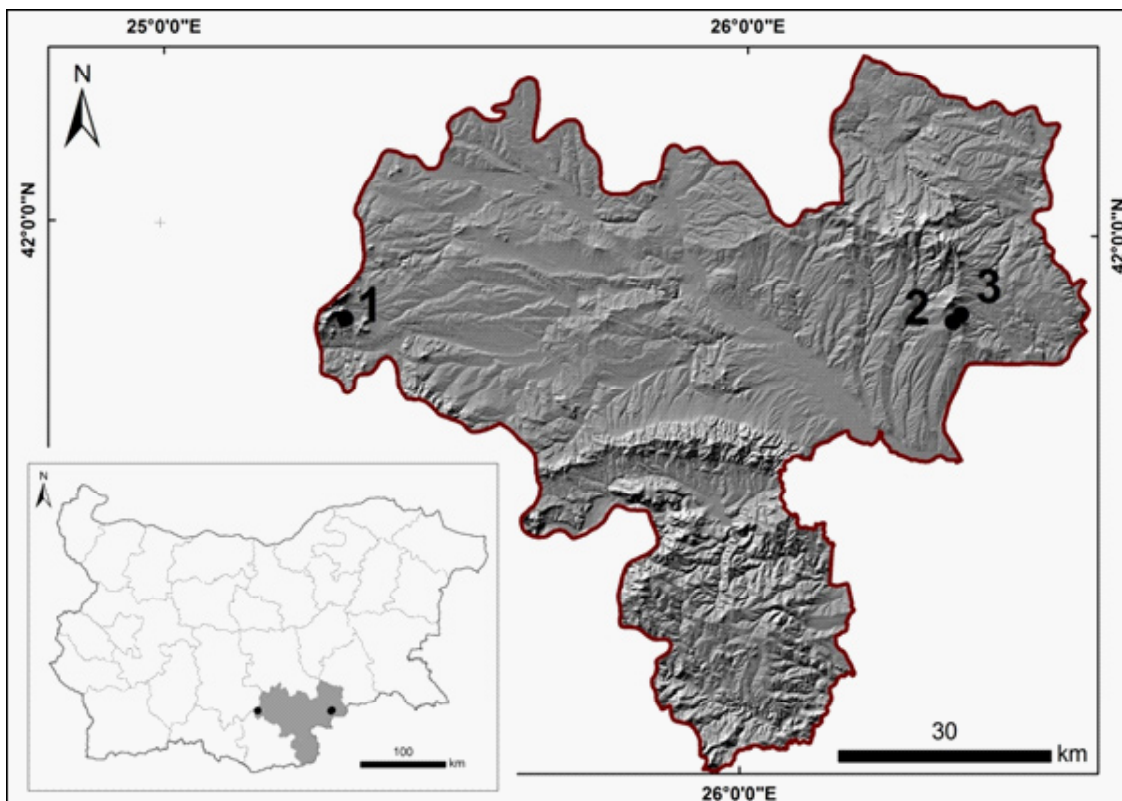
на изследване и горската растителност – горските култури и издънковото насаждение са представени подробно в други публикации (Molla, 2014 и Molla, Velizarova, 2015).

Резултати и обсъждане

Резултатите за изменение на съдържанието на Нобщ в постилките и почвите на засегнатите и незасегнатите от пожар обекти са представени на фигури 2 и 3 съответно. Данните показват, че в почвата от Обект 1, под култура от черен бор (*Pinus nigra* Arn), съдържанието на Нобщ в повърхностния 5 cm слой на почвата се увеличава до Нобщ = 0,141 % ($\pm 0,004$) непосредствено след влиянието на върхов пожар в сравнение с контролния вариант от Нобщ $k = 0,097$ % ($\pm 0,010$), като тази разлика е статистически значима при $p < 0,05$ (табл. 1). Увеличаването на съдържанието на азот в почвата след пожар, някои автори обясняват с механизма на „in vitro” минерализацията на растителните остатъци (Mroz et al., 1980; Rashid, 1987; Choosing et al., 2005; Ekinchi, 2006), което вероятно е и причината за увеличаване на азота в почвата от Обект 1. Според DeLuca et al., (2002) и DeLuca, Sala (2006) повишаване на концентрациите на NH_4^+ и NO_3^- форми на азота в почвата веднага след пожар и намаляването след около 3 месеца до концентрации, близки до тези от контролните варианти са свързани със скоростта на процесите на минерализация и нитрификация (DeLuca et al., 2002; DeLuca, Sala, 2006). Тези процеси са подпомагат от измененията на рН, които настъпват на границата на почва – горска постилка веднага след пожар, установени от Molla, Velizarova (2015). Една от причините за намаляване на рН в постилката непосредствено след пожар вероятно е увеличаване на разтворимостта и изнасяне на азот във формата на нитрати (N-NO_3^-) по дълбочина на почвения профил и акумулирането му в повърхностния 5 cm слой на почвата (Outi, Smolander, 1999). Измененията в съдържанието на Нобщ в по-дълбокия почвен слой (5–20 cm) не са статистически значими при $p < 0,05$.

Увеличаване на съдържанието на азот в повърхностният слой на засегнати от пожар почви под иглолистни горски култури е установено и от други автори (PrietoFernández et al., 1993; Velizarova et al., 2001, 2003; Choosing et al., 2005; Úbeda et al., 2009; Velizarova, 2011; Bogdanov, 2013; Montoya et al., 2013). В динамика до три месеца след пожара, съдържанието на Нобщ в повърхностния (0–5 cm) слой на почвата се запазва по-високо в сравнение с това от контролните варианти, а една година след пожара стойностите им се изравняват (фиг. 2, табл. 1). Тенденцията е сходна и в слоя от 5 до 20 cm дълбочина. Вероятно през влажния зимен сезон (след месец ноември) се увеличава разтворимостта на азот-съдържащите съединения в почвата и тяхното по-интензивно придвижване по дълбочина на почвения профил, чрез низходящия воден поток (Badia et al., 2014).

Резултатите за съдържанието на азот в почвите под насаждението от космат дъб (*Quercus pubescens* Wild.) (Обект 2) показват, че низовият пожар води освен до статистическо значимото му намаляване в двата почвени слоя 0-5 cm и 5-20 cm, така и в постилката (фиг. 2, 3, табл. 1). В слоя 0-5 cm съдържанието на Нобщ = 0,174% ($\pm 0,011$) непосредствено след низов пожар и слабо намалява в следващите 3 месеца. Понижаването на съдържанието на азот в засегнатата от пожар почва Raison et al., (1985) обяснява със засилени процеси на отделяне на азот като азотни окиси в атмосферата при пожари с ниска интензивност, както е пожарът в насаждението от космат дъб (*Quercus pubescens* Wild.) (Обект 2). В литературата са отбелязани и други случаи, на намаляване на съдържанието на азот в почвата на дълбочина до 15 cm под дъбови насаждения непосредствено след влиянието на низов пожар (Velizarova et al., 2002; Bogdanov, 2015). Формирането на азотните окиси и отделянето им в атмосферата е установено, че започва при достигане на температура по време на пожара с около 200° C (Neary et al., 1999).



Фиг. 1. Местоположение на изследваните райони: Обект 1 – горска култура от Черен бор (*Pinus nigra* Arn.) в общ. Минерални бани, Обект 2 – издънково насаждение от Космат дъб (*Quercus pubescens* Willd) и Обект 3 - горска култура от Бял бор (*Pinus sylvestris* L.) в района на общ. Свиленград.

Fig. 1. Location of studied areas: Object 1 – Austrian pine plantation (*Pinus nigra* Arn.) in Mineralni bani municipality, Object 2 Downy oak coppice stand (*Quercus pubescens* Willd) and Object 3 - Scots pine plantation (*Pinus sylvestris* L.) in Svilengrad municipality

В края на изследвания период (1 година след пожара) се отбелязва слабо повишение до $N_{общ} = 0,198\% (\pm 0,016)$, макар и да остава по-ниско от $N_{общ} = 0,230\% (\pm 0,019)$ в контролния вариант за този период. Трябва да се отбележи, че съдържанието на $N_{общ}$ в почвата от Обект 2 – насаждение от дъб от контролните варианти е по-високо от това за почвите под иглолистни насаждения (Обект 1 и Обект 3). Очевидно в почвата от насажденията от *Quercus pubescens* Wild. съдържанието на азот е по-високо в сравнение с това от иглолистни култури. Kristensen et al., (2004) отбелязват, че от широколистните дървесни видове – насажденията от дъб обикновено заемат площи с по-високо съдържание на хранителни елементи в почвата, докато иглолистните са разпространени на по-бедни почви.

В почвеният слой от 0-5 cm под горската култура от бял бор (*Pinus sylvestris* L.) (Обект 3), засегната от низов пожар през изследвания период I е установено $N_{общ} = 0,026\% (\pm 0,008)$. Това съдържание намалява статистически значимо в сравнение с контролния вариант $N_{общ} = 0,052\% (\pm 0,011)$ (табл. 1). Подобна тенденция е установена от Gómez-Rey, Gonzalez-Prieto, (2013), които също установяват понижаване на съдържанието на азот в минералния слой на почвата една седмица след влиянието на горски пожар. И в тази почва, подобно на почвата от Обект 2 загубата на азот вероятно се дължи на отделяне на азота под формата на окиси в процеса на горене на органичните материали, както и на повишаване на процесите на разлагане след пожар (Certini, 2005).

Таблица 1. Съдържание и изменение на азот в почвите и постилките под различни дървесни видове
Table 1. Nitrogen content and changes in soils and litters at different tree species

Периоди на пробоземане Sampling period	Варианти Variants	Дълбочина, cm Depth, cm	Съдържание на въглерод, %, \pm SD Soil organic carbon content (SOCcontent), %, \pm SD	Съдържание на азот, %, \pm SD Soil organic nitrogen content (SONcontent), %, \pm SD	Изменение на съдържанието на азот, Δ N % \pm SE Nitrogen content changes, Δ N % \pm SE	C:N
Обект 1 Черен бор (Pinus Nigra Arn)						
I	Върхов Crown	МГП	20,88 \pm 3.,50*	0,814 \pm 0,029	-0,092 \pm 0,008*	31
		0–5	3,72 \pm 0,27*	0,141 \pm 0,004	+0,044 \pm 0,013*	31
		5–20	1,68 \pm 0,18	0,094 \pm 0,008	+0,016 \pm 0,010	21
	Контрола Control	МГП	35,44 \pm 4,98	0,906 \pm 0,038		50
		0–5	2,00 \pm 0,06	0,097 \pm 0,010		24
		5–20	1,64 \pm 0,10	0,078 \pm 0,013		25
II	Върхов Crown	МГП	14,02 \pm 5,63*	0,663 \pm 0,061	-0,242 \pm 0,064*	21
		0–5	2,77 \pm 0,44*	0,146 \pm 0,012	+0,033 \pm 0,006*	22
		5–20	1,67 \pm 0,20	0,096 \pm 0,018	+0,015 \pm 0,011	21
	Контрола Control	МГП	38,77 \pm 3,13	0,905 \pm 0,050		50
		0–5	1,95 \pm 0,05	0,113 \pm 0,009		20
		5–20	1,62 \pm 0,20	0,081 \pm 0,008		23
III	Върхов Crown	МГП	5,76 \pm 6,17*	0,528 \pm 0,036	-0,396 \pm 0,014*	12
		0–5	2,24 \pm 0,45	0,157 \pm 0,011	+0,043 \pm 0,003*	17
		5–20	1,61 \pm 0,05	0,115 \pm 0,012	+0,035 \pm 0,009*	17
	Контрола Control	МГП	34,93 \pm 2,20	0,924 \pm 0,015		48
		0–5	1,89 \pm 0,29	0,114 \pm 0,012		20
		5–20	1,56 \pm 0,22	0,080 \pm 0,006		23
IV	Върхов Crown	МГП	0,00 \pm 0,00*	0,00 \pm 0,00	-0,930 \pm 0,028*	0
		0–5	1,95 \pm 0,03	0,115 \pm 0,019	0,0005 \pm 0,010	20
		5–20	1,53 \pm 0,06	0,078 \pm 0,003	-0,006 \pm 0,003	23
	Контрола Control	МГП	33,20 \pm 4,83	0,930 \pm 0,049		49
		0–5	1,85 \pm 0,04	0,115 \pm 0,008		19
		5–20	1,50 \pm 0,10	0,084 \pm 0,003		21

Таблица 1. Продължение
Table 1. Continue

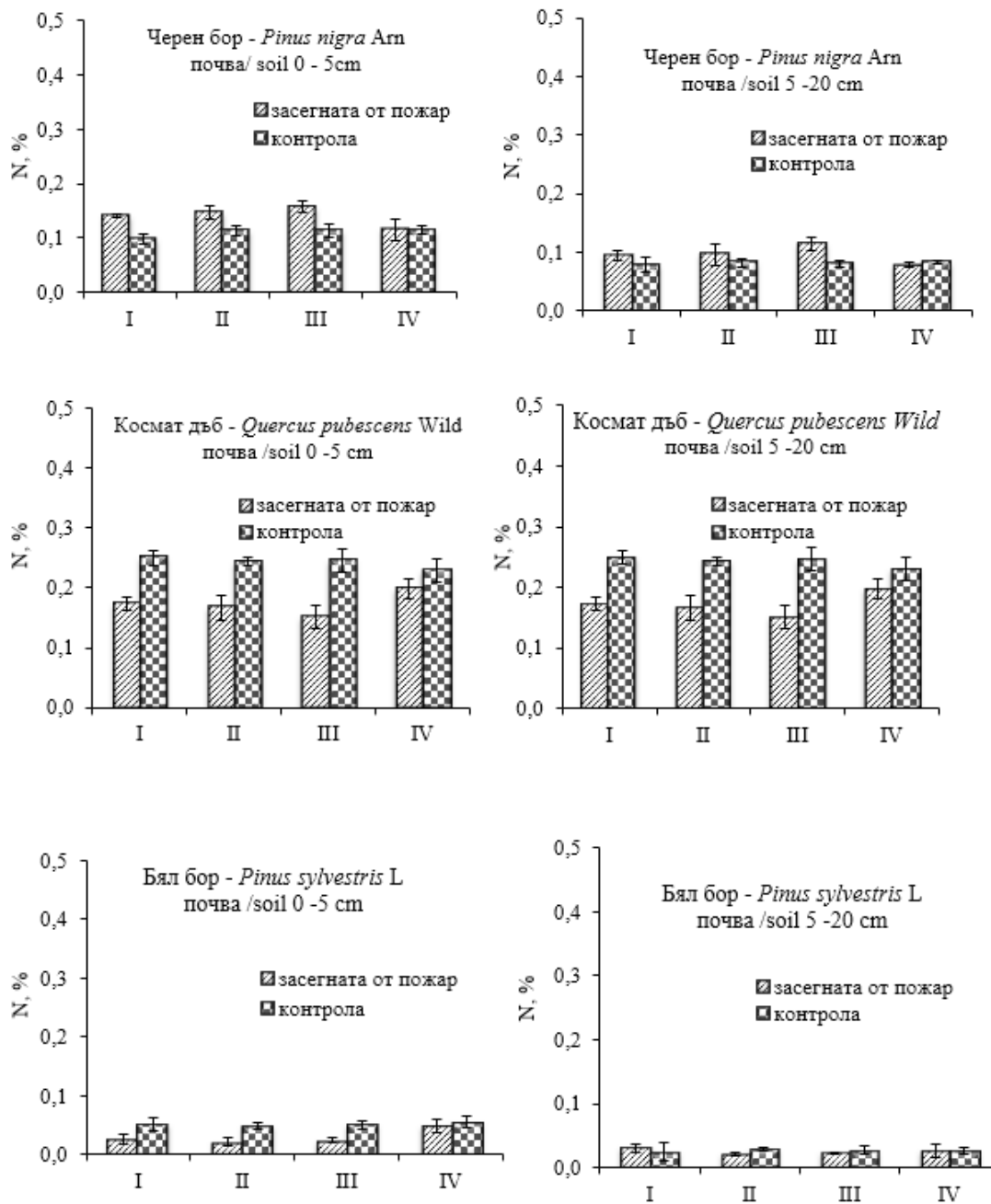
Обект 2 Космаг дъб (Quercus pubescens Wild.)						
I	Низов Surface	МГП	11.89±0.69*	0.831±0.020	-0,184±0,024*	17
		0-5	3.19±0.16*	0.174±0.011	-0,076±0,012*	21
		5-20	1.89±0.27	0.090±0.013	-0,023±0,004*	25
	Контрола Control	МГП	28.63±5.26	1.015±0.035		34
		0-5	2.71±0.08	0.250±0.011		13
		5-20	1.63±0.08	0.113±0.015		17
II	Низов Surface	МГП	11,16±3,31*	0,959±0,061	-0,059±0,002*	14
		0-5	3,08±0,10	0,167±0,021	-0,076±0,014*	22
		5-20	1,80±0,28	0,092±0,017	-0,024±0,015	23
	Контрола Control	МГП	27,22±3,08	1,018±0,065		33
		0-5	2,70±0,37	0,243±0,007		13
		5-20	1,64±0,06	0,116±0,011		17
III	Низов Surface	МГП	7,71±0,86*	0,956±0,024	-0,037±0,026	9
		0-5	2,70±0,17	0,151±0,018	-0,095±0,022*	21
		5-20	1,72±0,26	0,141±0,013	+0,008±0,016	14
	Контрола Control	МГП	25,59±2,55	0,993±0,026		34
		0-5	2,67±0,17	0,246±0,020		13
		5-20	1,66±0,25	0,133±0,019		15
IV	Низов Surface	МГП	20,36±5,71*	0,923±0,087	+0,027±0,067	26
		0-5	2,67±0,15	0,198±0,016	-0,032±0,007*	16
		5-20	1,73±0,25	0,094±0,018	-0,036±0,018	22
	Контрола Control	МГП	26,27±5,74	0,950±0,079		33
		0-5	2.62±0,10	0,230±0,019		13
		5-20	1,61±0,03	0,130±0,045		16

Таблица 1. Продължение
Table 1. Continue

Обект 3 Бял бор (Pinus sylvestris L.)						
I	Низов Surface	МГП	13,75±0,82*	0,707±0,020	-0,071±0,011*	23
		0–5	0,66±0,07*	0,026±0,008	-0,025±0,008*	31
		5–20	0,57±0,11	0,031±0,006	-0,003±0,012	21
	Контрола Control	МГП	33,28±1,17	0,778±0,029		50
		0–5	0,81±0,06	0,052±0,011		19
		5–20	0,75±0,17	0,028±0,014		33
II	Низов Surface	МГП	13,77±0,47*	0,595±0,062	-0,175±0,061	27
		0–5	0,61±0,04*	0,022±0,008	-0,027±0,006*	36
		5–20	0,51±0,11	0,022±0,006	-0,008±0,001	28
	Контрола Control	МГП	33,11±1,05	0,770±0,054		51
		0–5	0,82±0,08	0,048±0,006		20
		5–20	0,74±0,11	0,030±0,004		30
III	Низов Surface	МГП	11,22±1,20*	0,658±0,130	-0,117±0,079	20
		0–5	0,59±0,06*	0,024±0,004	-0,027±0,002*	30
		5–20	0,52±0,08*	0,023±0,002	-0,005±0,005	26
	Контрола Control	МГП	32,67±0,47	0,775±0,050		49
		0–5	0,86±0,06	0,051±0,008		19
		5–20	0,74±0,09	0,028±0,008		32
IV	Низов Surface	МГП	35,23±4,82	0,792±0,023	0,014±0,061	52
		0–5	0,63±0,06	0,048±0,011	-0,007±0,010*	16
		5–20	0,53±0,09*	0,027±0,009	-0,001±0,008	25
	Контрола Control	МГП	34,12±3,07	0,778±0,092		52
		0–5	0,84±0,15	0,055±0,009		18
		5–20	0,74±0,05	0,028±0,012		33

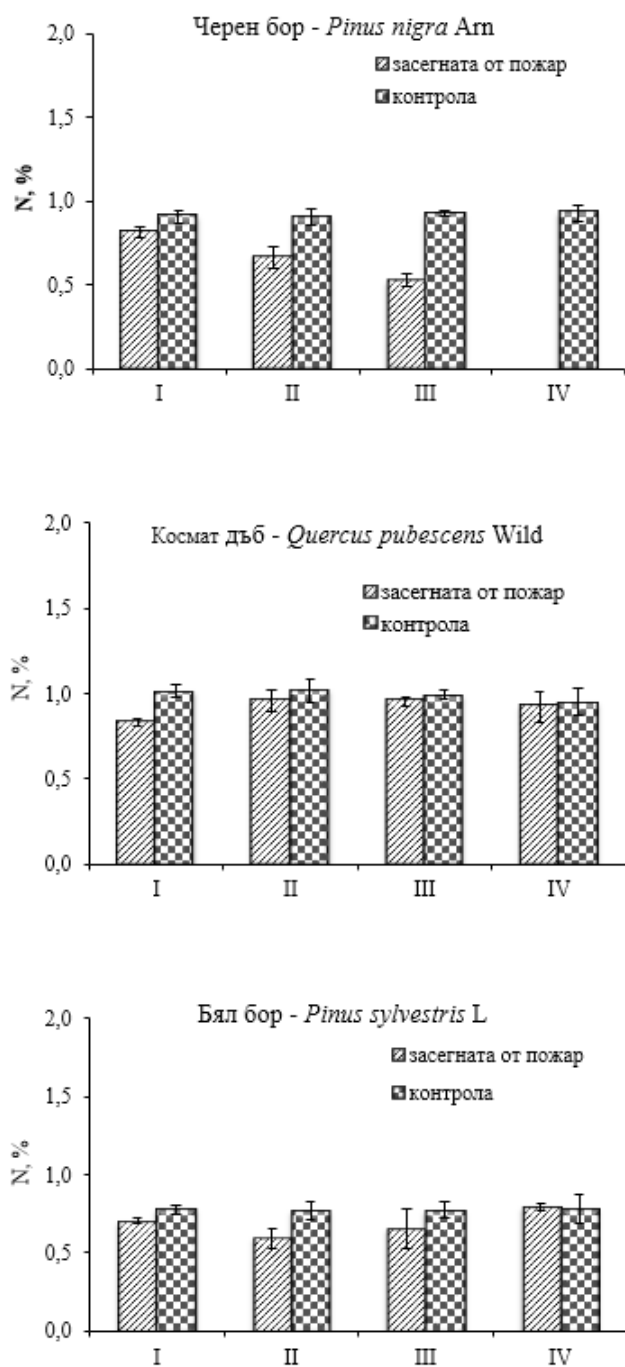
*Статистически значима разлика, $p < 0,05$

*Statistically significant difference, $p < 0,05$



Фиг. 2. Съдържание на азот (\pm SD) в засегнати и незасегнати от пожар почви: Вариант I – непосредствено след горски пожар, II – един месец; III – три месеца и IV – една година след горски пожар в изследваните райони: горска култура от Черен бор (*Pinus nigra* Arn.) Обект 1, издънково насаждение от Космат дъб (*Quercus pubescens* Willd) Обект 2 и горска култура от Бял бор (*Pinus sylvestris* L) Обект 3. Почвен слой от 0 до 5 cm и почвен слой от 5 до 20 cm.

Fig. 2. Nitrogen content (\pm SD) of fire affected and unaffected soils: I – immediately after forest fire, II – a month; III – three months and IV – a year after forest fire of studied areas: Austrian pine plantation (*Pinus nigra* Arn.) Object 1, Downy oak coppice stand (*Quercus pubescens* Willd) Object 2 and Scots pine plantation (*Pinus sylvestris* L) Object 3. Soil layer from 0 to 5 cm and soil layer from 5 to 20 cm.



Фиг. 3. Съдържание на азот (\pm SD) в засегнати и незасегнати (контрола) от пожар горски постилки: Вариант I – непосредствено след горски пожар, II – един месец; III – три месеца и IV – една година след горски пожар в изследваните райони: горска култура от Черен бор (*Pinus nigra* Arn.) Обект 1, издънково насаждение от Космат дъб (*Quercus pubescens* Willd) Обект 2 и горска култура от Бял бор (*Pinus sylvestris* L) Обект 3.

Fig. 3. Nitrogen content (\pm SD) of fire affected and unaffected litter: Variant I – immediately after forest fire, II – a month; III – three months and IV – a year after forest fire of studied areas: Austrian pine plantation (*Pinus nigra* Arn.) Object 1, Downy oak coppice stand (*Quercus pubescens* Willd) Object 2 and Scots pine plantation (*Pinus sylvestris* L) Object 3.

Една година след пожара тенденцията се запазва, но резултатите не са статистически значими, което означава, че съдържанието на азот в засегнатия от пожар повърхностен 5 cm почвен слой се доближава до това от контролните варианти. При изследване на засегнати от пожар почви под иглолистни култури Kutiel, Naveh (1987) установяват, че съдържанието на азот се възстановява до съдържанието му в контролните варианти след няколко месеца. При изследване на тъмноцветни горски почви под смърчови насаждения един месец след влиянието на пожар Velizarova et al., (2014b) също отчитат намаляване на съдържанието на азот. След последващо проучване се установява, че съдържанието на азот се повишава и доближава до това на контролните варианти 20 месеца по-късно (Velizarova, 2014). Според Velizarova et al., (2011) съдържанието на азот в засегнати от пожар кафяви (Cambisols – Eutric) и канелени (Luvisols – Chromic) горски почви се променя в зависимост от вида на растителността.

Изменението на азота в почвата се определя в голяма степен от съдържанието му в горската постилка. Резултатите за съдържанието на Нобщ в постилката са представени на фигура 3, таблица 1. Съдържанието на Нобщ варира от Нобщ = 0,770% ($\pm 0,054$) за постилките формиранни от културата от бял бор (период I) до Нобщ = 1,018% ($\pm 0,065$) установено за насаждението от дъб (период II).

Непосредствено след въздействието на пожара, съдържанието на азот в горската постилка от Обект 1 е Нобщ = 0,814% ($\pm 0,029$) и намалява във всеки от изследваните периоди (фиг. 3). Една година след пожара, не е установено наличие на горска постилка. Най-вероятно, влиянието на върховия пожар и по-стръмния склон на терена (15°) са допринесли за побързото изнасяне на формираната се слой пепел. Съдържанието на азота в постилката от Обект 2 Нобщ = 0,831% ($\pm 0,020$) непосредствено след пожара е по-ниско в сравнение с контролния вариант Нобщ = 1,015% \pm (0,035) (фиг. 3). Тази тенденция се запазва до една година след пожара, независимо от слабото повишаване във вариант IV до Нобщ = 0,923% ($\pm 0,087$). В

почвата от засегнатата от пожар от Обект 3, също е установено слабо намаляване на Нобщ от Нобщ = 0,707% ($\pm 0,020$) във вариант I в сравнение с контролния вариант Нобщ = 0,778% ($\pm 0,029$). През периода III и IV съдържанието на Нобщ се увеличава слабо и е сходно с това от контролните варианти Нобщ = 0,778% ($\pm 0,092$). Установено е, че количеството на органичните остатъци на повърхността на почвата е пропорционално на съдържанието на азот в постилката и почвата, тъй като хранителните елементи в това число и азотът се освобождават в процеса на горене и последващо разлагане (Su et al., 1996). Високата температура по време на пожара води до необратими реакции на трансформация на веществата и елементите в постилката в това число до превръщането на част от азот-съдържащите съединения във форма на окиси, които се отделят в атмосферата (DeBell, Ralston, 1970). Азотът, който не се е отделил във вид на окиси в атмосферата по време на пожара остава в непълно изгорелите растителни остатъци във форма на $\text{NH}_4^+\text{-N}$, която е достъпна за растенията (Debano, Conrad, 1978). Тъй като различните дървесни видове, които са изследвани – черен бор, бял бор и космат дъб съществено се различават по количествен и качествен състав на постилката, която формират, по вида пожар – низов и върхов, интензивността и продължителността на пожара – то и съдържанието на азота, установен в тях се различава съществено.

Както беше посочено, съдържанието на азот в постилката и почвата зависи от количеството на органичните материали в почвата и на повърхността. Затова отношението C:N играе важна роля в оценка на процесите на разлагане на органичното вещество, достъпността на хранителните елементи в почвата и последващата им трансформация (Turner, 1977).

Отношението на C:N в повърхностния 5 cm почвен слой за двете иглолистни горски култури (черен и бял бор) (Обект 1 и Обект 3) непосредствено след влиянието на пожара (I период) се увеличава до C:N = 31 в сравнение с контролните варианти C:N = 24 за Обект 1 и C:N = 19 за Обект 3. Увеличаването на отношението

C:N в почвите от Обекти 1 (черен бор) се дължи на увеличаването на съдържанието на въглерод в повърхностния 5 cm почвен слой (табл. 1). Подобно увеличаване на стойностите на отношението C:N е установено и в други изследвания, проведени за Канелени горски почви под култури от бял и черен бор (Velizarova et al., 2014a). Повишените стойности на отношението C:N са показател за забавяне на разлагането на почвеното органично вещество (Velizarova, 2010; Osman, 2013) и намаляване на количеството на усвоимите хранителни елементи. В динамика за Обект 1 (черен бор) е установено, че стойностите на C:N постепенно намаляват в повърхностния слой на почвата и една година след пожара (период IV) са близки до тези от контролните варианти C:N = 19 (табл. 1).

Повишените стойности на C:N в почвата от бял боровата култура (Обект 3) непосредствено след пожар се дължи най-вече на значимото намаляване на съдържанието на азот в засегнатата от низов пожар почва (табл. 1). Почвите от бял боровата култура са бедни на азот, което се потвърждава от ниските стойности на азот в контролните варианти варира - от $N_{общо} = 0,048\%$ ($\pm 0,006$) до $N_{общо} = 0,065\%$ ($\pm 0,009$), при което и малките загуби на азот се отразяват на отношението C:N. Резултатите за почвата от Обект 3 (бял бор) показват, че стойностите на C:N се запазват относително постоянни до три месеца след пожара (период III), а в края на изследването (период IV) остават със стойност C:N = 16 близка спрямо контролата C:N = 18.

В повърхностния 5 cm слой на почвата под дъбовото насаждение (Обект 2) отношението C:N = 21 непосредствено след влиянието на пожар е по-високо в сравнение с контролата C:N = 13. Установено е, че по-високите стойности на C:N в засегнатите от пожар почви се запазват до една година след пожар. При изследване на динамиката на почвеното органично вещество на Канелени горски почви под дъбови насаждения Velizarova et al., (2011) установяват, че отношението C:N запазва по-високи стойности спрямо контролните

варианти до 20 месеца след влиянието на пожар за разлика от иглолистните при които C:N остава с по-ниски стойности спрямо контролата.

Измененията на отношението C:N в по-дълбокия почвен слой (5-20 cm) следва тенденцията на измененията настъпващи в слоя 0-5 cm и за трите обекта на изследване (табл. 1).

Непосредствено след влиянието на горските пожари отношението C:N намалява значимо в постилките и от трите дървесни вида, което се обяснява с бързата минерализация на растителните остатъци под влияние на процеса горене (Baird et al., 1999; Pausas, Vallejo, 1999; Alexis et al., 2007). Получените резултати показват съществено намаляване на C:N в постилките от иглолистните дървесни видове – бял и черен бор след пожар, като от C:N = 50 за контролните варианти намалява до C:N = 31 за Обект 1 (черен бор) и до C:N = 23 за Обект 3 (бял бор) (табл. 1). При анализа на измененията на съдържанието на въглерод в постилките се установи, че то намалява най-силно след пожар в Обект 3 (бял бор).

В динамика стойностите на C:N продължават да намаляват в засегнатите от пожар постилки формирани от иглолистните дървесни видове, като три месеца след пожар C:N = 12 за Обект 1 (черен бор) и C:N = 20 за обект 3 (бял бор) и една година след влиянието на низов пожар, под културата от бял бор се формира нова постилка от незасегнатия от низов пожар склоп на дървостоя, поради което стойностите на C:N се доближават до тези от контролните варианти, а за варианта с черен бор (Обект 1) засегнат от върхов пожар, не се формира нова постилка.

В постилката от широколистното дъбово насаждение засегнато от низов пожар отношението C:N намалява до C:N = 17 спрямо контролния вариант C:N = 34. Установено е, че три месеца след пожар стойностите на C:N продължават да намаляват и достигат до C:N = 9. Една година след пожар (период IV) се формира нова постилка която бързо се разгражда/разлага при условията на мека и влажна зима, което води до повишаване на отношението C:N и достигане

до стойности сходни с тези на контролните варианти - C:N = 33.

Изводи

Съдържанието на общ азот (Нобщ) в почвата, под култура от черен бор, се повишава непосредствено след пожар и достига до Нобщ = 0,14%, като тези по-високи стойности се запазват до 3 месеца след пожара. В почвата под насаждението от дъб и културата от бял бор, съдържанието на азот намалява след въздействие на пожар до Нобщ = 0,17% и Нобщ = 0,03% съответно и остава по-ниско в сравнение с незасегнатите почви през целия едногодишен период на изследване. Разликата между съдържанието на азота в почвите, засегнати от пожар в сравнение с незасегнатите - ΔN % (\pm SD) е статистически значимо за всички изследвани варианти за повърхностния почвен слой от 5 cm при $p < 0,05$. Съдържанието на азот в постилките и при трите дървесни вида намалява непосредствено след въздействието на пожар (период I), като измененията са статистически значими при $p < 0,05$. Най-съществено намаляване на съдържанието на азот е установено в постилката от дъбовото насаждение, ΔN % = 0,184% ($\pm 0,024$).

Отношението на C:N в горската постилка на засегнатите от пожар дървесни видове се характеризира с почти двукратно намаляване непосредствено след пожар, като тази тенденция се запазва през едногодишния период на изследване. Непосредствено след пожар C:N намалява в постилката от 50 до 31 под черен и до 23 под бял бор. Стойностите на C:N в почвата и характера на измененията под иглолистните дървесни видове са сходни и се характеризират с увеличаване на стойностите в сравнение с контролните варианти непосредствено след пожара. Отношението C:N в почвите под насаждение от дъб са по-ниски C:N = 21 в засегнати от пожар почви в сравнение с C:N = 13 за контролните.

Литература

- Alexis, M., D. Rasse, C. Rumpel, G. Bardoux, N. Péchot, P. Schmalzer, B. Drake, A. Mariotti, 2007. Fire impact on C and N losses and charcoal production in a scrub oak ecosystem, *Biogeochemistry*, 82, pp. 201–216.
- Araya S., S. Meding, A. Berhe, 2016. Responses of soil physic-chemical properties to combustion: a space for time substitution study to infer how changes in climate are likely to affect response of topsoil to fires. *SOIL Discuss*, pp. 1–39.
- Badia, D., C. Martí, A. Aguirre, J. Aznar, J. González-Pérez, J. De la Rosa, J. León, P. Ibarra, T. Echeverria, 2014. Wildfire effects on nutrients and organic carbon of a Rendzic Phaeozem in NE Spain: Changes at cm-scale topsoil. *Catena*, Vol. 113, pp. 267–275.
- Baird, M., D. Zabowski, R. Everett, 1999. Wildfire effects on carbon and nitrogen in inland coniferous forests. *Plant and Soil* 209, pp. 233–243.
- Berber, A., Ç. Tavşanoğlu, O. Turgay, 2015. Effects of surface fire on soil properties in a mixed chesnut-beech-pine forest in Turkey. *Flamma*, 6 (2), pp. 70–80.
- Boerner, R., J. Huang, S. Hart, 2009. Impacts of fire and fire surrogate treatments on forest soil properties: a meta-analytical approach, *Ecological Applications*, 19(2), pp. 338–358.
- Bogdanov, S, 2013. Changes in total nitrogen content in soils influenced by forest fires in Bulgaria Forestry ideas, vol. 19, 1 (45), pp. 91–99.
- Bogdanov, S, 2015. Changes in total nitrogen content in Gray forest soils influenced by forest fires in deciduous forests, Проблемы природоохранной организации ландшафтов, Материалы международной научно-практической конференции, 12–13 may, 2015., pp. 35–40.
- Certini G., C. Nocentini, H. Knicker, P. Arfaioli, C. Rumpel, 2011. Wildfire effects on soil organic matter quantity and quality in two fire-prone Mediterranean pine forests. *Geoderma*, 167–168, pp.148–155.
- Certini, G, 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143, pp. 1–10.
- Choonsig, K., K. Kyo, Sang, B. Jae, Kyung J. Jin, Heon, 2005. Post fire effects on soil roperties in red pine (pinus densiflora) stands, *Forest Science and Technology*, 1 (1), pp. 1–7.
- Czimeczik, C., C. Preston, M. Schmidt, E. Schulze, 2003. How surface fire in Siberian Scots pine forests affects soil organic carbon in the forest floor: stocks, molecular structure, and conversion to black carbon (charcoal), *Global Biogeochem Cycles* 17(1), pp. 1020.
- DeBano, L, 1991. The effect of fire on soil properties, Paper presented at the Symposium on Management and Productivity of Western-Montane Forest Soils, *Boise*, pp. 151–156.
- Debano, L., C. Conrad, 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. *Ecology*, 59 (3), pp. 489–497.

- DeBell, D., C. Ralston, 1970.** Release of nitrogen by burning light forest fuels, *Soil Science Society of America Proceedings*, 34, pp. 936–938.
- DeLuca, T., A. Sala, 2006.** Frequent fire alters nitrogen transformations in ponderosa pine stands of the inland northwest. *Ecology* 87, pp. 2511–2522.
- DeLuca, T., M-C. Nilsson, O. Zackrisson, 2002.** Nitrogen mineralization and phenol accumulation along a fire chronosequence in northern Sweden, *Oecologia*, 133, pp. 206–214.
- Doerr, S., A. Cerda, 2005.** Fire effects on soil system functioning: new insights and future challenges. *Int J Wildland Fire* 14(4), pp. 339–342.
- Donov, V., S. Gencheva, K. Jorova, 1971.** Guidance on exercises in forest soil science, Sofia, *Zemizdat.*, pp. 67.
- Ekinci, H., 2006.** Effect of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil in Çanakkale, Turkey. *International journal of agriculture and biology*, Vol. 8, 1, pp. 102–106.
- Gómez-Rey, M., S. Gonzalez-Prieto, 2013.** Short-term impact of a wildfire on net and gross N transformation rates, *Biol Fertil Soils*, 49, pp. 1065–1075.
- González-Perez, J., F. Gonzalez-Vila, G. Almendros, H. Knicker, 2004.** The effect of fire on soil organic matter—a review. *Environment International* 30, pp. 855–870.
- Greene, S.W., 1935.** Effect of annual grass fires on organic matter and other constituents of virgin longleaf pine soils. *J. Agric. Res.* 50, pp. 809–822.
- Grove, T., A. O’Connell, G. Dimmock, 1986.** Nutrient changes in surface soils after an intense fire in jarrah (*Eucalyptus marginata* Donn ex Sm.) forest. *Australian Journal of Ecology*, 11, pp. 303–317.
- Guinto, D., P. Saffigna, Z. Xu, A. House, M. Perera, 1999b.** Soil nitrogen mineralisation and organic matter composition revealed by ¹³C NMR spectroscopy under repeated prescribed burning in eucalypt forests of south-east Queensland. *Aust J Soil Res* 37, pp. 123–135.
- Guinto, D., Z. Xu, A. House, P. Saffigna, 2001.** Soil chemical properties and forest floor nutrients under repeated prescribed burning in eucalypt forests of south-east Queensland, Australia. *N Z J For Sci* 31(2), pp. 170–187.
- Guinto, D., A. House, Z. Xu, P. Saffigna, 1999a.** Impacts of repeated fuel reduction burning on tree growth, mortality and recruitment in mixed species eucalypt forests of southeast Queensland, Australia. *For Ecol Manage* 115(1), pp. 13–27.
- Guinto, D., Z. Xu, A. House, P. Saffigna, 2000.** Assessment of N₂ fixation by understory acacias in recurrently burnt eucalypt forests of subtropical Australia using ¹⁵N isotope dilution techniques. *Can J For Res* 30(1), pp. 112–121.
- Hosseini Bai, S., F. Sun, Z. Xu, T. Blumfield, C. Chen, C. Wild, 2012.** Appraisal of ¹⁵N enrichment and ¹⁵N natural abundance methods for estimating N₂ fixation by understory *Acacia leiocalyx* and *A. disparimma* in a native forest of subtropical Australia. *J Soils Sediments* 12(5), pp. 653–662.
- Hosseini Bai, S., F. Sun, Z. Xu, T. Blumfield, 2013.** Ecophysiological status of different growth stage of understory *Acacia leiocalyx* and *Acacia disparrima* in an Australian dry sclerophyll forest subjected to prescribed burning. *J Soils Sediments* 13(8), pp. 1378–1385.
- Jorgensen, J. and C. Wells, 1971.** Apparent nitrogen fixation in soil influenced by prescribed burning. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35, 806–810.
- Knicker, H. 2011.** Soil organic N - An under-rated player for C sequestration in soils? *Soil Biology and Biochemistry*, 43, pp. 1118–1129.
- Knicker, H., F. González-Vila, O. Polvillo, J. González, G. Almendros, 2005.** Fire-induced transformation of C- and N- forms in different organic soil fractions from a Dystric Cambisol under a Mediterranean pine forest (*Pinus pinaster*). *Soil Biology and Biochemistry* 37, pp. 701–718.
- Kolka, R., B. Sturtevant, P. Townsend, J. Miesel, P. Wolter, S. Fraver, T. DeSutter, 2014.** Post-Fire Comparisons of Forest Floor and Soil Carbon, Nitrogen, and Mercury Pools with Fire Severity Indices, North American Forest Soils Conference Proceedings, pp. 58–65.
- Kristensen, H., P. Gundersen, I. Callesen, G. Reinds, 2004.** Through fall nitrogen deposition has different impacts on soil solution nitrate concentration in European coniferous and deciduous forests, *Ecosystems* 7(2), pp. 180–192.
- Kutieli, P., Z. Naveh, 1987.** The effect of fire on nutrients in a pine forest soil. Lowdermilk Faculty of Agricultural Engineering, *Technion. Plant and Soil*, 104, pp. 269–274.
- Molla, I. 2014.** Particle size distribution of fire affected forest under tree species from the region Southeast Bulgaria. *Forest science*, ½, pp. 37–45 (BG).
- Molla I., E. Velizarova, 2015.** Variation of the acid-base properties of forest soil and litter under different tree species affected by forest fires in south-eastern Bulgaria. *Forestry ideas*, Vol. 21, №2, (50), pp. 91–101.
- Montoya, S., G. Marin, E. Ortega, 2013.** Impact of prescribed burning on soil properties in a Mediterranean area (Granada, SW Spain). *Spanish journal of soil science*, vol. 4, (1), pp. 88–98.
- Moore, D. G. McCabe, B. Craig, 2009.** Introduction to the Practice of Statistics Practice of Statistics, sixth edition. W. H. Freeman and Company New York, p. 1010.
- Mroz, G., M. Jurgensen, A. Harvey, M. Larsen, 1980.** Effects of fire on nitrogen in forest floor horizons, *Soil Science Society of America Journal*, 44, pp. 395–400.
- Murphy, J., D. Johnson, W. Miller, R. Walker, E. Carroll, R. Blank, 2006.** Wildfire effects on soil nutrients and leaching in a Tahoe Basin watershed. *Journal of Environmental Quality* 35, pp. 479–489.
- Nave, L., E., E. Vance, C. Swanston, P. Curtis, 2011.** Fire effects on temperate forest soil C and N storage. *Ecological Applications*. Vol. 21, 4, pp. 1189–1201.
- Neary, D., C. Klopatek, L. DeBano, P. Ffolliott, 1999.** Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis, *Forest Ecology and Management*, 122, pp.

51–71.

Neary, D., S. Overby, 2006. Wildfire and post-fire erosion impacts on forest ecosystem carbon and nitrogen: an analysis.

Forest Ecology and Management, 234S, S162.
https://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2006_neary_d001.pdf

Nye, P., D. Greenland, 1964. Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant and soil* XXI, 1, pp. 101–112.

Orlov, D. S., L. A. Grishina, 1981. Workshop on humus chemistry. MGU, Moscow, pp. 273 (RU).

Osman, K., 2013. Soils. Principles, properties and management. *Springer*, p. 271

Outi, P., A. Smolander, 1999. Nitrogen transformations in soil under *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* at two forest sites. *Soil Biology and Biochemistry*, 31 (7), pp. 965–977.

Pausas, J., V. Vallejo, 1999. The role of fire in European Mediterranean ecosystems. In: Chuvieco E. (ed.) Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean basin, *Springer-Verlag*, pp. 3–16.

Poirier, V., D. Pare, J. Boiffin, A. Munson, 2014. Combined influence of fire and salvage logging on carbon and nitrogen storage in boreal forest soil profiles, *Forest Ecology and Management* 326, pp. 133–141.

Prieto-Fernandez, A., M. Villar, M. Carballas, T. Carballas, 1993. Short-term effects of a wildfire on the nitrogen status and its mineralization kinetics in an Atlantic forest soil. *Soil biology and biochemistry*, vol. 25, 12, pp. 1657–1664.

Quintero-Gradilla, S., F. Garcia-Oliva, R. Cuevas-Guzmán, E. Jardel-Peláez, A. Martínez-Yrizar, 2015. Soil carbon and nutrient recovery after high-severity wildfire in Mexico. *Fire Ecology* Vol. 11, (3), pp. 45–60.

Raison, R., A. O'Connell, P. Khanna, H. Keith, 1993. Effects of repeated fire on nitrogen and phosphorus budgets and cycling processes in forest ecosystems. In: L. Tradbuad and P. Prodon, editors. Fire in Mediterranean ecosystems. Commission of the European countries, *Ecosystem research report 5*, Brussels, Belgium, pp. 347–363.

Raison, R., P. Khanna, P. Woods, 1985. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires, *Canadian Journal of Forest Research*, 15(1), pp. 132–140.

Rashid, G., 1987. Effects of fire on soil carbon and nitrogen in a Mediterranean oak forest of Algeria. *Plant and Soil*. Vol. 103, 1, pp. 89–93.

Reich, P., D. Peterson, D. Wedin, K. Wrage, 2001. Fire and vegetation effects on productivity and nitrogen cycling across a forest-grassland continuum. *Ecology*, 82 (6), pp. 1703–1719.

Rovira, P., J. Romanyá, B. Duguay, 2012. Long-term effects of wildfires on the biochemical quality of soil organic matter: a study on Mediterranean shrublands. *Geoderma*, 179-180, pp. 9–19.

Rubenacker, A., P. Campitelli, M. Velasco, S. Ceppi, 2012. Fire impact on several chemical and physicochemical parameters in a forest soil. *Soil Health Land Use Manage.* 5, pp. 67–86.

Smith, D., 1970. Concentrations of soil nutrients before and after fire. *Canadian Journal of Soil Science* 50, pp. 17-29.

Su, J., S. Katagiri, N. Kaneko, Y. Nagayama, 1996. Soil nitrogen dynamics following slash-and-burn treatment in a secondary forest of western Japan-In relation to topography, *J.Jpn. For. Soc.* 78, pp. 257–265.

Turner, J., 1977. Effect of nitrogen availability on nitrogen cycling in a Douglas-fir stand. *Forest Science*, 23, pp. 307–316.

Úbeda, X., P. Pereira, L. Outeiro, D. Martin, 2009. Effects of fire temperature on the physical and chemical characteristics of the ash from two plots of cork oak (*Quercus suber*). *Land Degradation and Development*. Vol. 20, pp. 589–608.

Vandev, D., 2003. Notes on Applied Statistics, 1, Sofia, pp. 1–90 (BG).

Velizarova E., 2010. Main properties and indexes of the soil under beech ecosystems in Central Balkan range region. *Forest science*, 1, pp. 41–50 (BG).

Velizarova, E., 2011. Forest fire influence on some properties of soils under different forest types. *Soil science, agrochemistry and ecology*, 4, pp. 30–34 (BG).

Velizarova, E., 2014. Dynamics of soil organic matter changes after fire in “Bistrishko branishte” biosphere reserve. *Forest science*, № ½, pp. 47–55 (BG).

Velizarova E., A. Tashev, K. Jorova, 2002. Trends and peculiarities in the changes of some properties and indexes of forest soils affected by fires. *Forestry ideas* 3–4, pp. 3–22 (BG).

Velizarova E., A. Tashev, K. Yorova, 2003. Changes of some main properties of forest soils after fires in black pine (*P. nigra* Arn.) and oak stands (*Q. cerris* L., *Q. frainetto* Ten.) in the region of “Harmanli”. In: G. Kostov (Editor), Proceedings of scientific reports. International scientific conference “50th Year of Forestry University”. 1-2 April 2003. Section “Forestry” 2003, “Landscape Architecture”, pp. 42–47.

Velizarova E., E. Filcheva, M. Teoharov, 2014a. Influence of fires on the soil organic matter in forest ecosystems. In: “Soil organic matter and soil fertility of soils in Bulgaria. (S. Krastanov et al., eds.). *Bulgarian Humic Substances Society*, ISBN 978-619-90189-1-0, pp. 368-387 (BG).

Velizarova, E., A. Tashev, L. Topalova-Rzerzycha, I. Atanassova, 2011. Dynamic of soil organic matter after surface and crown fire depending on the forest tree species variability. Ecology and Future. *Journal of Agricultural Science and Forest Science* 10 (3), pp. 25–29 (BG).

Velizarova, E., A. Tashev, 2008. Changes in some soil properties of coniferous stands influenced by fire in the Osogovo mountain (Bulgaria). In: Fires in forest ecosystems of Siberia. Proceedings of the All-Russian Conference with

international participation – Krasnoyarsk, N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Br., Russian Academy of Sciences Krasnoyarsk, *Russia Ed. Cvetcov P.A.*, pp. 198–200.

Velizarova, E., I. Ts. Marinov, T. Liubenov, V. Konstantinov, M. Mihajlova, 2010. Forest fires impact on erodibility of soils of Plana and Sredna gora mountains, Bulgaria VI International Conference on Forest Fire Research that will take place in Coimbra, Portugal from November 15th to 18th, 2010. DP33 <http://www.adai.pt/icffr/2010/index.php?target> (CD with full papers).

Velizarova, E., I. Ts. Marinov, V. Konstantinov, 2006. Forest fires – dynamic, assessment and ecological consequences. *Forest science*, 1, pp. 75–90 (BG).

Velizarova, E., K. Jorova, A. Tashev, 2001. Investigations on some characteristics of forest soils influenced by fire in plantations of Black pine (*P. nigra* L.) II. Chemical characteristics. *Forest science* 1–2, pp. 34–43 (BG).

Velizarova, E., R. Nedkov, I. Molla, M. Zaharinova, B. Malcheva, 2014b. Soil organic matter changes in result of forest fires in Vitosha mountain. *Forestry ideas*, 20, 2 (48), pp. 171–180.

Vlamiš, J., A. Schultz, and H. Biswell, 1955. Burning and soil fertility. *Calif. Agric.* 9, p. 7.

Wan, S., D. Hui, Y. Luo, 2001. Fire effects on nitrogen pools and dynamics in terrestrial ecosystems: a meta-analysis, *Ecol Appl*, 11, (5), pp. 1349–1365.

Wang, Y., Z. Hu, Q. Zhou, 2014. Impact of fire on soil gross nitrogen transformations in forest ecosystems. *Journal of Soils and Sediments*, Vol. 14, (6), pp. 1030–1040.

Winter, J, 2013. Using the Student's t-test with extremely small sample sizes, Practical assessment research and evaluation,), ISSN 1531-7714, Vol. 18, pp. 10–12.