



В. П. ВОРОН¹, Є. Є. МЕЛЬНИК¹, Є. В. ІВАНІЧЕВА¹, І. В. ТИМОЩУК², О. М. ТКАЧ³
ПІРОГЕННІ ЗМІНИ ҐРУНТІВ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ

¹Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького
²ДП «Степовий ім. В. М. Виноградова філіал УкрНДДЛГА»

³Рівненське обласне управління лісового та мисливського господарства

Унаслідок низових пожеж відбуваються зміни фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунтів. Досліджено пірогенні зміни властивостей ґрунтів у чистих соснових лісах, що ростуть у різних природних зонах України. У соснових насадженнях після низових пожеж у результаті як часткового, так і повного згорання підстилки утворюється попіл, що в подальшому впливає на хімізм верхнього шару ґрунту. Подібні особливості відзначали в різних природних зонах України. Надходження попелу в ґрунт призводило до зростання рН верхнього гумусового горизонту. Оскільки таке явище є одноразовим, то в подальшому після дощів значення рН водного витягу знижувалося до природного рівня. Причиною пірогенних змін є високий вміст у попелі лужних металів. Інтенсивність змін реакції та вмісту лужних катіонів залежить від рівня згорання підстилки. Найбільш відчутними є зміни у разі повного згорання підстилки. Зазначені зміни мають поверхневий характер, тобто переважно притаманні лише верхньому шару ґрунту. На більшій глибині реакція не відрізняється від контролю.

К л ю ч о в і с л о в а : лісова пожежа; підстилка, попіл, кислотність, іони.

Вступ. Унаслідок низових пожеж, коли температура горіння підстилки може сягати 655°C (Levchenko et al. 2015, Voron et al. 2016), змінюються структура, склад і властивості лісової підстилки й верхніх шарів ґрунту (Usenya 2002, Orlovskiy 2003, Maksimova & Abakumov 2013).

Зміни фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунтів відбуваються як унаслідок дії високих температур, так і в результаті надходження попелу (Pozdniakov 1953, De Bano & Conrad 1978, Sorokin 1983, Macadam 1987, Dymov et al. 2015, Santin & Doerr 2016).

Попіл, що утворився під час пожежі, має лужну реакцію (Krasnoshchekov 2014), тому реакція поверхневих горизонтів змінюється від кислої до слаболужної. В умовах Північного Степу України після пожежі рН верхнього шару ґрунту зростає з 5,1 до 6,8 (Rasporina 2011).

У результаті піролізу й мінералізації важкодоступних орґано-мінеральних сполук верхнього шару ґрунту зростає вміст елементів живлення (Macadam 1987, Kutiel & Shaviv 1990), змінюється співвідношення обмінних катіонів у ґрунтовому поглинальному комплексі, амонійного й нітратного азоту в орґаногенних горизонтах ґрунту (Arefieva & Kolesnikov 1964). Проте в подальшому, у результаті вимивання опадами, вміст елементів живлення знижується (De Bano & Conrad 1978, McLean et al. 1983).

Властивості ґрунтів поступово стабілізуються протягом перших двох років після пожежі (Rasporina 2011), але мікробіологічна активність не відновлюється навіть через 10 років (Zwolicki et al. 2004).

Вплив пожеж на властивості ґрунтів може мати особливості залежно від фізико-географічних умов, типу насаджень, умов місцезростання та властивостей ґрунту, а також виду й інтенсивності пожежі (Pozdniakov 1953, Popova 1975, Bezkorovaynaya et al. 2005, Krasnoshchekov 2014). Тому вивчення характеру й ступеня пірогенних змін ґрунтів вже давно привертає увагу вчених.

Метою роботи було вивчення впливу низових пожеж різної інтенсивності на зміни хімізму ґрунтів у соснових насадженнях.

Матеріали й методи. Пірогенні зміни властивостей ґрунтів визначали в соснових лісах Полісся (ДП «Острівське ЛГ», ДП «Сарненське ЛГ» та ДП «Рокитнівське ЛГ», Рівненська область), Лісостепу (ДП «Жовтневе ЛГ», Харківська область) та Степу (ДП «Олешківське ЛМГ», Херсонська область). Пробні площі (ПП) закладено в чистих 50–70-річних сосняках, у найбільш поширених типах лісорослинних умов (ТЛУ) (В₂ та В₃ – для Полісся та Лісостепу; А₀-А₁ – для Степу). Аналіз ґрунту проводили як відразу після пожежі, так і в подальшому.

Оскільки раніше було встановлено, що під час пожеж температура ґрунту глибше 15 см суттєво не змінюється (Vogon et al. 2018), зразки відбирали до цієї позначки в подібних за віком і складом соснових насадженнях, коли підстилка:

- повністю або частково згоріла;
- не була пошкоджена поза зоною пожежі (контроль).

У пірогенно пошкоджених сосняках за загальноприйнятими методиками (Yakist gruntu 2019) досліджували іонно-сольовий режим і катіонно-обмінні властивості ґрунтів:

- рН потенціометричним методом;
- вміст іонів у водному витягу;
- обмінні H^+ (за Соколовим), K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ;
- гідролітичну кислотність (за Каппеном);
- суму поглинених основ (за Каппеном-Гільковцем);
- азот, що легко гідролізується (за Шконде-Корольовою);
- легкорозчинні фосфати (P_2O_5) та доступні форми калію (K_2O) (за Кірсановим).

Оцінювання рН проведено за шкалою де: <4,5 – екстремально кислі ґрунти; 4,5–5,0 – дуже сильнокислі; 5,0–5,5 – сильнокислі; 5,5–6,0 – середньокислі; 6,0–6,5 – слабокислі, 6,5–7,3 – нейтральні; 7,3–7,8 – слаболужні; 7,8–8,5 – середньолужні; 8,5–9,0 – сильнолужні; >9 – дуже сильнолужні (Fitzpatrick 1986).

Результати та обговорення. Реакція попелу підстилки, спаленої під час експерименту, досягала сильнолужного рівня (8,69). У соснових насадженнях у Поліссі значення рН попелу підстилки після пожежі було близьким до цього рівня – 8,63 (табл. 1). Хоча надходження попелу в ґрунт призводило до зростання рН верхнього гумусового горизонту (4,35–4,50) проти контролю (3,58–3,80), але реакція ґрунтів залишалася екстремально кислою. До того ж таке зростання зберігалось протягом незначного періоду. Після дощів значення рН водного витягу знижувалося до 4,00–4,20, а через місяць – до 3,9. Надалі, через 1–1,5 року після пожежі, значення рН знижувалося до 3,35, тобто ставало нижче за природній рівень.

Таблиця 1

Значення рН та вміст іонів у водному витягу верхнього гумусового горизонту ґрунтів пірогенно пошкоджених соснових насаджень у Поліссі

Період після пожежі, днів	Лісництво*-квартал-виділ	рН	Катіони, ммоль/100 г ґрунту					Аніони, ммоль/100 г ґрунту			Сума 1 + Сума 2
			K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Сума 1	Cl^-	HCO_3^-	Сума 2	
Попіл											
1	Р-54-27	8,63	1,01	7,40	24,30	6,90	39,61	5,40	3,00	8,40	48,01
Верхній шар ґрунту											
1	Р-54-27	4,50	0,05	0,13	0,40	0,18	0,76	0,24	0,32	0,56	1,32
1	Р-54-27	4,35	0,03	0,12	0,38	0,13	0,66	0,19	0,30	0,57	1,23
1	Р-54-27	4,40	0,03	0,13	0,35	0,15	0,66	0,18	0,36	0,54	1,20
7	Б-31-25	4,20	0,02	0,03	0,09	0,06	0,20	0,15	0,25	0,40	0,60
7	С-106-7	4,00	0,02	0,04	0,13	0,08	0,27	0,16	0,27	0,43	0,70
30	Р-54-27.	3,90	0,02	0,04	0,09	0,09	0,24	0,14	0,18	0,32	0,56
360	С-106-2	3,35	0,02	0,04	0,01	0,06	0,13	0,12	0,21	0,33	0,46
480	Р-21-42	3,35	0,01	0,03	0,08	0,01	0,13	0,20	0,15	0,35	0,48
Контроль	С-106-7	3,80	0,01	0,03	0,07	0,03	0,14	0,14	0,15	0,29	0,43
Контроль	Р-54-27	3,68	0,01	0,03	0,10	0,04	0,18	0,14	0,18	0,32	0,50
Контроль	Р-21-42	3,58	0,01	0,03	0,09	0,03	0,16	0,16	0,16	0,30	0,46
Контроль	Р-54-27	3,66	0,01	0,02	0,05	0,03	0,11	0,14	0,20	0,34	0,45

*Р – Рокитнівське лісництво ДП «Рокитнівське ЛГ»; Б – Біловіжське лісництво ДП «Острківське ЛГ»; С – Страшівське лісництво ДП «Сарненське ЛГ».

Сума лужних катіонів у водному витягу з верхнього горизонту в пошкоджених пожежею насадженнях у перші дні після пожежі становила 0,65–0,76 ммоль/100 г ґрунту. Вже через тиждень вона знижувалася до 0,20–0,27 ммоль/100 г ґрунту, а через 1–1,5 року становила

лише 0,13 ммоль/100 г ґрунту. Тобто, як порівняти з контролем (0,11–0,18 ммоль/100 г ґрунту), відразу після пожежі сума лужних катіонів зростає в 4,22–5,91 разу. Але вже через тиждень цей показник суттєво знижується в 1,5–1,82 разу. Через триваліший час – один рік – цей показник поступово зменшувався й наближався до рівня контролю. За вмістом катіони розташовувалися в такому порядку: $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+} > K^{+}$. Але якщо вміст катіонів кальцію зростав у 3,7–8,0 разу, магнію – у 5,8–7,0 разу, натрію – у 4,6–7,9 разу, то калію – лише у 2,8–3,0 разу. Сума аніонів у водному витягу через різні періоди після пожежі різнилася меншою мірою: в перший день після пожежі її значення сягало 0,54–0,57 ммоль/100 г ґрунту, через тиждень – 0,40–0,43, а через місяць знижувалося до рівня контролю – близько 0,32 ммоль/100 г ґрунту.

Як бачимо, надходження попелу до ґрунту призводить насамперед до зростання вмісту лужних катіонів у водному витягу. Але в дуже кислих ґрунтах Полісся це явище має короточасний характер, оскільки лужні катіони завдяки випаданню значної кількості опадів досить швидко вимиваються. Подібна ситуація виявляється з обмінними катіонами, які пов'язані ґрунтовим вбирним колоїдним комплексом (табл. 2). У досліджуваних ґрунтах сума увібраних основ є дуже низькою – менше ніж 3,0 ммоль/100 г ґрунту. Після надходження попелу в ґрунт величина місткості катіонного обміну зростає проти контролю трохи більше ніж у 2 рази. Але вже за тиждень вона знову знижується до рівня 2,54–2,56 ммоль/100 г ґрунту. Таке значення утримується й надалі. І хоча воно є дещо вищим, ніж на контролі, проте відповідає дуже низькому рівню.

Таблиця 2

Уміст обмінних катіонів у верхньому гумусовому горизонті ґрунтів пірогенно пошкоджених соснових насаджень у Поліссі

Період після пожежі, днів	Лісництво* - квартал-виділ	Гідролітична кислотність, ммоль/100 г ґрунту	Обмінні катіони, ммоль/100 г ґрунту					% насичення основами
			K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сума	
Попіл								
1	P-54-27	0	55,01	1,45	54,38	17,07	127,91	100,00
Верхній шар ґрунту								
1	P-54-27	130,60	1,19	0,71	4,38	7,19	13,47	64,10
1	P-54-27	5,91	0,20	0,48	1,88	2,69	5,25	93,96
1	P-54-27	8,97	0,21	0,55	1,25	1,00	3,01	83,61
7	B-31-25	3,94	0,19	0,28	1,03	1,07	2,56	92,22
8	C-106-7	6,34	0,18	0,4	1,02	0,94	2,54	86,19
30	P-54-27	4,59	0,18	0,65	1,02	0,82	2,66	89,05
360	C-106-2	24,28	0,18	0,45	1,13	0,75	2,51	61,10
480	P-21-42	7,44	0,19	0,45	1,13	0,82	2,58	84,11
Контроль	C-106-2	5,03	0,14	0,39	1,02	0,82	2,36	88,04
Контроль	C-106-7	8,97	0,16	0,38	1,07	0,75	2,36	80,40
Контроль	P-54-27	15,75	0,13	0,58	1,00	0,82	2,53	70,12
Контроль	P-21-42	5,69	0,13	0,39	1,00	0,88	2,40	86,98
Контроль 1 місяць	P-54-27	10,50	0,14	0,38	1,13	0,82	2,46	78,90

*P – Рокитнівське лісництво ДП «Рокитнівське ЛГ»; Б – Біловіжське лісництво ДП «Остківське ЛГ»; С – Страшівське лісництво ДП «Сарненське ЛГ».

Уміст обмінного кальцію на контролі (1,0–1,13 ммоль/100 г ґрунту) відповідає дуже низькому, а вміст магнію (0,75–0,88 ммоль/100 г ґрунту) – середньому рівню. Відразу після пожежі вміст обмінного кальцію зріс проти контролю у 2,1–2,5 разу, а магнію – в 1,9–2,4 разу, що відповідає середньому й високому рівню відповідно. Проте, як і у випадку з водним витягом, уміст обмінних катіонів практично відразу почав знижуватися. Значно меншими були коливання вмісту обмінних калію й натрію.

Важливим є співвідношення в ґрунтовому колоїдному вбирному комплексі між обмінними катіонами H^+ і Al^{3+} та Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (див. табл. 2). Перші характеризують потенційну (гідролітичну) кислотність ґрунту, інші – місткість катіонного обміну, або суму увібраних основ. Поряд зі зростанням умісту лужних катіонів відбувається зменшення вмісту катіонів H^+ і Al^{3+} , тобто гідролітичної кислотності. Після пожежі вона знижується до 5,69–5,91 ммоль/100 г ґрунту, у той час як на контролі коливається від 8,03 до 10,05 ммоль/100 г ґрунту. Якщо після пожежі з часом уміст обмінних лужних катіонів знижується практично до рівня контролю, то гідролітична кислотність навіть через два роки після пожежі є меншою, ніж на контролі.

У сосняках Лісостепу реакція попелу підстилки, яка частково або повністю згоріла, відразу після пожежі коливалася від нейтральної (7,0) до сильнолужної (8,7). Через два тижні після пожежі за повного згорання підстилки вона знизилася до нейтральної (6,85), а за часткового – до слабокислої (6,20). Через три місяці після пожежі значення рН попелу знизилося ще більше, у разі повного згорання підстилки – до 5,70, у разі часткового – до 4,48. Це практично є близьким до кислотності дернових слаборозвинених опідзолених ґрунтів, рН верхнього горизонту яких становить від 4,52 до 4,67 од. (табл. 3).

Таблиця 3

Значення рН водного витягу ґрунтів пірогенно пошкоджених соснових насаджень в умовах Лісостепу

Глибина відбору, см	Період після пожежі, днів		
	14	90	480
Контроль			
0–2	4,67	4,48	4,50
2–5	4,62	4,62	4,29
5–10	4,52	4,52	4,33
Підстилка частково згоріла			
Попіл	6,20	4,48	–
0–2	4,75	4,65	4,47
2–5	4,35	4,58	4,53
5–10	4,54	4,82	4,60
Підстилка повністю згоріла			
Попіл	6,85	5,70	–
0–2	6,34	4,58	4,82
2–5	4,50	4,74	4,65
5–10	4,46	4,64	4,65

Величина рН верхнього шару (0–5 см) гумусового горизонту через два тижні після пожежі за повного згорання підстилки збільшується до 6,34 проти природного рівня на контролі 4,67, а за часткового згорання становить лише 4,75, що було дещо більшим проти контролю – 4,62. Через три місяці значення рН за повного згорання зменшилася до 4,58, а за часткового – до 4,65, що було навіть меншим, ніж на контролі.

На контролі впродовж усього періоду досліджень значення рН ґрунту майже не змінювалося. За часткового згорання підстилки навіть у верхньому шарі ґрунту виявлено незначні зміни рН. Значні зміни реакції верхнього шару ґрунту встановлено лише в разі повного згорання підстилки – значення рН знизилося до 4,82. На більшій глибині реакція не відрізнялася від контролю. Через 3 місяці на всій глибині значення рН було подібним до такого на контролі (табл. 3.)

Причиною зменшення кислотності ґрунту є збільшення вмісту водорозчинних лужних катіонів і гідрокарбонатів. Сумарний уміст лужних катіонів у попелі за часткового згорання підстилки становить 2,39 ммоль/100 г ґрунту, а за повного – 7,27 ммоль/100 г ґрунту, що є у 8–10 разів більшим, ніж у верхньому горизонті ґрунту (табл. 4).

У попелі підстилки вміст лужних катіонів був значно вищим, ніж у гумусовому горизонті. Якщо підстилка повністю згоріла, то в ній сума лужних елементів зростала до 0,98 ммоль/100 г ґрунту, тобто в разі більше, ніж на контролі. За часткового згорання

підстилки такої різниці не виявляли. Водночас через 3 місяці після пожежі в разі часткового згорання підстилки відзначено зростання суми лужних елементів, а в разі повного – навпаки – зменшення. Через півтора року в обох випадках визначали зменшення суми лужних елементів, у кожному разі їх вміст був вищим, ніж на контролі. Зі збільшенням глибини відбору суми лужних елементів зменшуються. Максимальну різницю (майже в 9 разів) зафіксовано в разі повного згорання підстилки.

Таблиця 4

Сума іонів у водному витягу ґрунтів пірогенно пошкоджених соснових насаджень в умовах Лісостепу, ммоль/100 г ґрунту

Глибина відбору, см	Катіони			Аніони			Сума		
	Період після пожежі, днів								
	14	90	480	14	90	480	14	90	480
Контроль									
0–2	0,30	0,15	0,16	0,30	0,21	0,40	0,60	0,36	0,56
2–5	0,28	0,11	0,12	0,26	0,22	0,41	0,54	0,33	0,53
5–10	0,16	–	–	0,19	–	0,36	0,35	–	–
Підстилка частково згоріла									
Попіл	2,39	1,31	–	2,76	2,04	–	5,15	3,35	–
0–2	0,23	0,51	0,20	0,58	0,35	0,22	0,81	0,86	0,42
2–5	0,24	0,11	0,18	0,30	0,22	0,22	0,54	0,33	0,40
5–10	0,10	0,09	0,18	0,22	0,24	0,20	0,32	0,33	0,38
Підстилка повністю згоріла									
Попіл	7,27	1,59	–	4,80	1,68	–	12,07	3,27	–
0–2	0,98	0,36	0,24	0,59	0,21	0,24	1,57	0,57	0,48
2–5	0,11	0,11	0,17	0,15	0,18	0,19	0,26	0,29	0,36
5–10	0,13	0,08	0,17	0,14	0,19	0,18	0,27	0,27	0,35

Уміст калію та кальцію у водному витягу з попелу через 2 тижні після пожежі був більше ніж у 10 разів вищим, ніж у верхньому горизонті ґрунту пошкоджених пожежею насаджень та на контролі, магнію – в 6–10 разів, натрію в 3–6 разів більшим. Уміст гідрокарбонатів збільшився у 12 разів (табл. 5, 6). У випадку, якщо підстилка згоріла не повністю, відзначено зростання вмісту гідрокарбонатів у 4,5 разу, а через три місяці – зростання у 2–4 рази вмісту лужних катіонів і гідрокарбонатів. Тобто на момент першого аналізу попелу лужні елементи завдяки підстилці не потрапляли до ґрунту. Деякі інші тенденції виявлено в ґрунтах, в яких підстилка згоріла повністю. Загальний уміст лужних катіонів збільшився в 30 разів, як порівняти з контролем. Особливо значних змін зазнав уміст кальцію. Суттєво збільшився вміст гідрокарбонатів. У зразках ґрунту, отриманих через три місяці після пожежі, відбулося значне зменшення вмісту лужних катіонів (за винятком натрію), але у верхньому шарі їхній рівень суттєво перевищував контроль. Оскільки збільшення рН ґрунтів у результаті надходження до ґрунту лужного попелу, який утворюється під час згорання мортмаси підстилки та органічних речовин, – явище одноразове, надалі лужні елементи поступово вимиваються, і значення рН знижується до природного (див. табл. 5, 6).

Таблиця 5

Уміст катіонів у водному витягу ґрунтів пірогенно пошкоджених соснових насаджень у Лісостепу, ммоль/100 г ґрунту

Глибина відбору, см	K ⁺			Na ⁺			Ca ²⁺			Mg ²⁺		
	Період після пожежі, днів											
	14	90	480	14	90	480	14	90	480	14	90	480
Контроль												
0–2	0,02	0,01	0,02	0,05	0,01	0,01	0,06	0,03	0,03	0,06	0,04	0,04
2–5	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,09	0,03	0,03
5–10	0,01	–	0,01	0,05	–	–	0,02	–	–	0,04	–	–

Закінчення табл. 5

Глибина відбору, см	K ⁺			Na ⁺			Ca ²⁺			Mg ²⁺		
	Період після пожежі, днів											
	14	90	480	14	90	480	14	90	480	14	90	480
Підстилка частково згоріла												
Попіл	0,28	0,20	–	0,31	0,09	–	0,54	0,30	–	0,36	0,21	–
0–2	0,02	0,04	0,01	0,05	0,03	0,02	0,03	0,10	0,05	0,06	0,12	0,03
2–5	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,08	0,02	0,03
5–10	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	0,03	0,02	0,03
Підстилка повністю згоріла												
Попіл	0,35	0,18	–	0,14	0,09	–	3,39	0,30	–	0,62	3,63	–
0–2	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,32	0,12	0,05	0,14	0,04	0,05
2–5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,01	0,04
5–10	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0,03

Таблиця 6

Уміст аніонів у водному витягу ґрунтів пірогенно пошкоджених соснових насаджень у Лісостепу, ммоль/100 г ґрунту

Глибина відбору, см	Cl ⁻			HCO ₃ ⁻		
	Період після пожежі, днів					
	14	90	480	14	90	480
Контроль						
0–2	0,22	0,17	0,30	0,08	0,04	0,10
2–5	0,22	0,18	0,29	0,04	0,04	0,12
5–10	0,16	–	0,30	0,03	–	0,06
Підстилка частково згоріла						
Попіл	1,08	1,08	–	1,68	0,96	–
0–2	0,22	0,20	0,16	0,36	0,15	0,06
2–5	0,20	0,14	0,18	0,10	0,08	0,04
5–10	0,18	0,18	0,14	0,04	0,06	0,06
Підстилка повністю згоріла						
Попіл	0,96	0,96	–	3,84	0,72	–
0–2	0,15	0,13	0,18	0,44	0,08	0,06
2–5	0,12	0,14	0,13	0,03	0,04	0,06
5–10	0,10	0,15	0,13	0,04	0,04	0,05

Уміст гумусу, рухомих форм N P K та обмінних катіонів у верхньому горизонті ґрунтів (0–5 см) на контролі впродовж усього досліджуваного періоду після пожежі змінювався без чіткої тенденції зростання або зменшення (табл. 7). Щодо пошкоджених пожежею насаджень, то в них у верхньому горизонті ґрунтів збільшився вміст гумусу та рухомого фосфору, зменшився вміст азоту, що легко гідролізується, та рухомого калію. Уміст обмінних катіонів зменшився як за часткового, так і за повного згорання підстилки. Така тенденція не збігається з виявленими змінами на Поліссі.

Таблиця 7

Уміст гумусу, рухомих форм N P K та обмінних катіонів у верхньому горизонті ґрунтів пірогенно пошкоджених соснових насаджень у Лісостепу

Період після пожежі, днів	Гумус, %	N*	P ₂ O ₅		K ₂ O		Обмінні катіони				
			рухомі (за Кірсановим)				K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сума
			мг/кг ґрунту		ммоль/100 г ґрунту						
Контроль											
14	0,49	53,2	3,5	25,1	0,16	0,73	1,13	1,13	3,14		
90	0,43	49,3	4,5	30,6	0,19	0,65	1,25	1,05	3,14		
480	0,55	44,6	2,5	51,5	0,14	0,80	1,38	1,13	3,44		
Підстилка частково згоріла											
14	0,55	36,5	3,7	21,6	0,16	0,60	0,88	0,63	2,26		

Закінчення табл. 7

Період після пожежі, днів	Гумус, %	N *	P ₂ O ₅	K ₂ O	Обмінні катіони					
			рухомі (за Кірсановим)		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сума	
			мг/кг ґрунту			ммоль/100 г ґрунту				
90	0,63	32,2	5,3	25,6	2,10	0,76	0,78	1,25	3,00	
480	0,47	40,5	4,5	17,5	0,14	0,80	1,35	0,94	3,23	
Підстилка повністю згоріла										
14	0,89	40,6	4,9	19,1	0,18	0,64	0,63	0,63	2,07	
90	0,51	28,2	4,5	15,6	0,18	0,70	1,13	1,10	3,11	
480	0,62	53,0	5,3	22,5	0,14	1,24	1,25	0,57	3,20	

*Азот, що легко гідролізується.

В умовах Степу в чистих соснових насадженнях після пожежі реакція попелу змінювалася від середньолужної (8,41) до слаболужної (7,57). Надходження лужного попелу в ґрунт призводило до певного підлужовування, а значення рН верхнього гумусового горизонту (0–5 см) було на рівні «середньоокислі» й відрізнялося від зразків на більшій глибині (5–10 см – «сильноокислі», 10–15 см – від «сильноокислі» до «дуже сильноокислі») (табл. 8). Хоча значення рН верхнього гумусового горизонту пірогенно пошкодженого сосняку зросло до 4,35–4,50, що було значно вищим, ніж у непошкоджених пожежею сосняках (3,58–3,80) (див. табл. 2), ґрунти лишалися «дуже сильноокислими».

Таблиця 8

Значення рН ґрунту та вміст іонів у водному витягу ґрунтів на різній глибині в соснових насадженнях із повністю згорілою підстилкою через 40 днів після пожежі в умовах Степу

Лісництво*-квартал	Глибина відбору, см	рН	Катіони, ммоль/100 г ґрунту					Аніони, ммоль/100 г ґрунту			Сума 1 + Сума 2
			K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сума 1	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Сума 2	
О-18	0–2 – попіл	7,57	0,10	0,05	0,44	0,54	1,12	0,36	0,80	1,16	2,28
	2–5	5,54	0,01	0,04	0,06	0,04	0,15	0,18	0,18	0,36	0,51
	5–10	5,24	0,01	0,04	0,06	0,04	0,15	0,18	0,11	0,29	0,44
	10–15	5,20	0,01	0,04	0,06	0,04	0,15	0,18	0,12	0,30	0,45
О-18	0–2 – попіл	7,78	0,30	0,07	0,48	1,66	2,51	0,52	1,56	2,08	4,59
	2–5	5,71	0,03	0,04	0,05	0,08	0,20	0,16	0,12	0,28	0,48
	5–10	5,07	0,02	0,03	0,05	0,04	0,14	0,16	0,08	0,24	0,38
	10–15	4,88	0,01	0,04	0,05	0,05	0,15	0,16	0,14	0,30	0,45
К-19	0–2 – попіл	8,41	0,26	0,08	1,01	1,55	2,90	0,60	0,92	1,52	4,42
	2–5	4,82	0,01	0,03	0,08	0,07	0,18	0,17	0,06	0,23	0,41
	5–10	4,74	0,01	0,03	0,05	0,04	0,13	0,17	0,06	0,23	0,36
	10–15	4,68	0,01	0,03	0,05	0,03	0,12	0,17	0,10	0,27	0,39
Р-19 – Контроль	0–2	5,66	0,01	0,03	0,05	0,04	0,13	0,18	0,11	0,29	0,42
	2–5	5,35	0,01	0,03	0,04	0,04	0,12	0,18	0,06	0,24	0,36
	5–10	5,45	0,01	0,03	0,05	0,03	0,12	0,18	0,06	0,24	0,36
	10–15	5,73	0,01	0,03	0,05	0,04	0,13	0,18	0,12	0,30	0,43

*О – Олешківське лісництво; К – Костогрицівське лісництво, Р – Раденське лісництво.

Властивості верхнього шару піщаних ґрунтів після пожежі мають виразний пірогенний характер (табл. 8, 9).

У попелі згорілої підстилки виявлено високий вміст катіонів у водному витягу. Такі значення суттєво перевищують показники на більшій глибині. Вміст катіонів K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ на глибині 5, 10 та 15 см є однаковим, тобто вплив пожежі на вміст цих елементів не виявлено. Подібне явище є характерним і для аніонів Cl⁻, HCO₃⁻: їхня кількість на глибині від 5 до 15 см була майже однаковою, але помітно відрізнялася від верхнього шару (від трьох до одинадцяти разів) (табл. 8).

Уміст обмінних катіонів у ґрунті пірогенно пошкоджених соснових насаджень у Степу, ммоль/100г ґрунту

Лісництво*-квартал	Глибина відбору, см	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сума
О-18	0–2 – попіл	2,24	3,08	22,51	4,38	32,21
	2–5	0,14	1,03	1,63	0,94	3,74
	5–10	0,10	1,06	2,06	1,06	4,28
	10–15	0,13	1,30	1,25	1,81	4,49
О-18	0–2 – попіл	2,85	3,57	24,38	17,53	48,33
	2–5	0,27	1,36	1,75	2,06	5,44
	5–10	0,22	1,33	1,75	2,31	5,61
	10–15	0,18	1,33	1,53	1,06	4,10
К-19	0–2 – попіл	1,73	2,91	20,53	6,31	31,48
	2–5	0,10	1,17	1,56	1,25	4,08
	5–10	0,14	1,36	1,25	1,31	4,06
	10–15	0,14	1,54	1,56	1,88	5,12
Р-19-Контроль	0–2 – попіл	0,19	1,55	1,56	1,25	4,55
	2–5	0,15	1,66	1,38	1,94	5,13
	5–10	0,13	1,41	1,63	1,38	4,55
	10–15	0,16	1,63	1,25	1,19	4,23

*О – Олешківське лісництво; К – Костогрицівське лісництво, Р – Раденське лісництво.

Схожу тенденцію виявлено й для обмінних катіонів (див. табл. 9). Так, у верхньому шарі зі згорілою підстилкою вміст K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ був у кілька десятків разів вищим, ніж на більшій глибині відбору. Уміст майже всіх обмінних катіонів на глибині 5 та 10 см виявився трохи більшим, ніж на глибині 15 см, але суттєво не різнився практично на всіх ПП.

Висновки. В соснових насадженнях у Поліссі після пожежі рН попелу підстилки завдяки високому вмісту лужних металів досягав 8,63. Надходження попелу до ґрунту призводило до зростання рН верхнього гумусового горизонту. Оскільки таке внесення є одноразовим, то в подальшому після дощів реакція ґрунтів знижувалася до природнього екстремально кислого рівня. Схожі тенденції відзначали й в інших природних зонах України.

Надходження попелу до ґрунту призводить до зростання вмісту лужних катіонів у водному витягу та обмінних катіонів, які пов'язані ґрунтовим вбирним колоїдним комплексом. Але в кислих ґрунтах соснових лісів України це явище має короткочасний характер, оскільки лужні катіони досить швидко вимиваються.

Інтенсивність пірогенних змін реакції ґрунтів і вмісту лужних катіонів залежить від рівня згорання підстилки. Найвідчутнішими були зміни у разі повного згорання підстилки.

У пошкоджених пожежею насадженнях у Лісостепу у верхньому горизонті збільшився вміст гумусу та рухомого фосфору, зменшився вміст азоту, що легко гідролізується, та рухомого калію.

Зазначені пірогенні зміни характерні лише для верхнього шару ґрунту. На більшій глибині хімізм ґрунтів не відрізняється від контролю.

Виявлені тенденції пірогенних змін потребують детальнішого, глибокого вивчення і встановлення особливостей у різних природних зонах.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Arefieva, Z. N. and Kolesnikov, B. P. 1964. Dinamika ammiachnogo i nitratnogo azota v lesnykh pochvakh Zauralia pri vysokikh i nizkikh temperaturakh [Dynamics of ammonia and nitrate nitrogen in forest soils of the Trans-Urals at high and low temperatures]. Pochvovedenie [Soil science], 3: 30–45 (in Russian).

Bezkorovaynaya, Y. N., Ivanova, G. A., Tarasov, P. A., Bohorodskaya, A. V. 2005. Pyrogennaya transformatsiya pochv sosnyakov sredney taigy Krasnoyarskogo kraya [Pyrogenic transformation of pine stand soil in Middle Taiga of Krasnoyarsk]. Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal [Contemporary Problems of Ecology], 1: 143–152 (in Russian).

De Bano, L. F. and Conrad, C. E. 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. Ecology, 59: 89–97.

Dymov, A. A., Dubrovskiy, Yu. A., Gabov, D. N., Zhangurov, E. V., Nizovtsev, N. A. 2015. Vliyanie pozhara v severotaezhnom elnyke na organicheskoe veshchestvo pochvy [Fire impact on soil organic matter in spruce stand in Northern Taiga]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1: 52–63 (in Russian).

Fitzpatrick, E. A. 1986. An introduction to soil science. 2nd ed. Harlow, Longman, 255 p.

Krasnoshchekov, Yu. N. 2014. Vliyanie pirogenogo faktora na serogumusovye pochvy sosnovykh lesov v tsentralnoy ekologicheskoy zone Baykalskoy prirodnoy territorii [Pyrogenic impact on gray humus soils of pine forests in the Central Ecological Zone of the Baikal Lake natural territory]. *Sybyrskiy Lesnoy Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2: 43–52 (in Russian).

Kutiel, P. and Shaviv, A. 1990. Effects of soil types, plant composition and leaching processes on soil nutrients following a simulated forest fire. In: *Proceedings of International Conference of Forest Fire C.03*, 12 p.

Levchenko, V. V., Borsuk, O. A., Borsuk, A. A. 2015. Lisovi horyuchi materialy [Forest fuel]. Kyiv, NULES, 237 p. (in Ukrainian).

Macadam, A. M. 1987. Effects of broadcast slash burning on fuel and soil chemical properties in the Sub-boreal Spruce Zone of central British Columbia. *Can. J. For. Res.*, 17: 1577–1584.

MacLean, D. A., Woodley, S. J., Weber, M. G., Wein, R. 1983. Fire and nutrient cycling. In: Wein, R. and MacLean, D. A. (Eds.). *The role of fire in Northern Circumpolar Ecosystems*. SCOPE 18. New York, John Wiley and Sons Ltd., p. 111–132.

Maksimova, E. Yu. and Abakumov, E. W. 2013. Vozdeystvie lesnykh pozharov na pochvennyy pokrov na primere postpirogennykh territoriy Samarskoy oblasti [Influence of wildfires on soils on the example of postpyrogenic territories of the Samara Region]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 15(3): 2088–2091 (in Russian).

Orlovskiy, S. N. 2003. Lesnye i torfyanye pozhary, praktika ih tusheniya v usloviyah Sibiri [The forest and peat fires, practice of their suppression in the Siberia]. Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 163 p. (in Russian).

Popova, E. P. 1975. Vliyanie nizovykh pozharov na svoystva lesnykh pochv Priangaria [Influence of ground fires on the properties of forest soils of Priangarie]. In: *Okhrana lesnykh resursov Sibiri* [Protection of forest resources of Siberia]. Krasnoyarsk, ILiD SO AN USSR, p. 166–178 (in Russian).

Pozdniakov L. K. 1953. Vliyanie beglykh nizovykh pozharov na rezhim vlazhnosti i temperaturu pochvy [Influence of surface fires on the moisture regime and soil temperature]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 4: 62–63 (in Russian).

Raspopina, S. P. 2011. Zmina lisoroslynnykh vlastyvostei gruntiv na zgharyshchakh v umovakh Pivnichnoho Stepu [Changes of forest-growing capabilities of soils in lands after fires in conditions of Northern Steppe]. *Lisivnytstvo i ahrolisomeliatsiya* [Forestry and Forest Melioration], 118: 164–170 (in Ukrainian).

Santin, C. C. and Doerr, S. H. 2016. Fire effects on soils. The human dimension. *Philos. Trans. R. Soc., B: Biological Sciences*, 371: Article 20150171.

Sorokin, N. D. 1983. Vliyanye lesnykh pozharov na biologicheskuyu aktivnost pochv [Effect of forest fires on soil biological activity]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 4: 24–28 (in Russian).

Usenya, V. V. 2002. Lesnye pozhary, posledstviya i borba s nimi [Forest fires and their consequences]. Gomel, IL NAN Belarusi, 206 p.

Voron, V. P., Borysenko, V. H., Barabash, I. O., Muntian, V. K., Tkach, O. M., Sydorenko, S. H., Melnyk, Ye. Ye. 2018. Vplyv teplovoho vyprominyuvannya na lisovi grunty [Influence of thermal radiation on forest soils]. *Lisivnytstvo i ahrolisomeliatsiya* [Forestry and Forest Melioration], 132: 105–114 (in Ukrainian).

Voron, V. P., Borysenko, V. H., Tkach, O. M., Muntian, V. K., Barabash, I. O. 2016. Parametry horinnya pidstylky sosnovykh lisiv Ukrayinskoho Polissya [Burning parameters of litter from Ukrainian Polissya pine forests]. *Lisivnytstvo i ahrolisomeliatsiya* [Forestry and Forest Melioration], 129: 130–138 (in Ukrainian).

Yakist gruntu. Epicentr zakonodavchich aktiv. 2019. [Electronic resource]. Available from: <http://epicentre.com.ua/dstu-7845-2015-nrm27573.html> (last accessed date 18.09.2019) (in Ukrainian).

Zwolicki J., Matuszczyk I., Hawrys Z. 2004. Wlasciwosci chemiczne gleb i igiel sosny oraz aktywnosc mikrobiologiczna gleb na terenie pozarzysk lesnych z 1992 roku w nadlesnictwach Rudy Raciborskie i Potrzebowice [Chemical properties of soils and scots pine needles and microbiological activity of soils on forest areas burnt in 1992 in forest districts of Rudy Raciborskie and Potrzebowice]. *Lesne Prace Badawcze* [Late research works], 1: 119–133 (in Poland).

Voron V. P.¹, Melnyk Ye. Ye.¹, Ivanicheva Ye. V.¹, Timochuk I. V.², Tkach O. M.³

POST-FIRE CHANGES IN SOIL OF PINE STANDS

¹Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

²State Enterprise “Steppe Branch of URIFFM named after V. M. Vinogradov”

³Rivne Regional Department of Forestry and Hunting

As a result of ground fires, changes in the physical, chemical and biological properties of soils occur. Pyrogenic changes in soil properties were studied in pure pine forests growing in different natural zones of Ukraine. As a result of both partial and complete combustion of the litter, ash is formed in pine stands after ground fires, which subsequently affects the chemistry of the upper soil layer. Similar features were noted in various natural zones of Ukraine. The intake of ash in the soil led to an increase in the pH of the upper humus horizon. Since this phenomenon is a one-time

occurrence, in the future after rains the pH value of the water extract decreased to a natural level. The cause of the pyrogenic changes is the high content of alkali metals in the ash. The intensity of changes in the reaction and the content of alkaline cations depend on the level of combustion of the litter. The most noticeable changes occur when the litter is completely burned. These changes are superficial, that is, they are mainly characteristic only of the upper soil layer. At greater depths, the reaction is no different from control.

К е у w o r d s : forest fire, forest litter, ash, acidity, ions.

Ворон В. П.¹, Мельник Е. Е.¹, Иваничева Е. В.¹, Тимошук И. В.², Ткач О. Н.³

ПИРОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

¹*Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого*

²*ГП «Степной им. В. М. Виноградова филиал УкрНИИЛХА»*

³*Ровненское областное управление лесного и охотничьего хозяйства*

В результате низовых пожаров происходят изменения физико-химических и биологических свойств почв. Исследованы пирогенные изменения свойств почв в чистых сосновых лесах, растущих в разных природных зонах Украины. В сосновых насаждениях после низовых пожаров в результате как частичного, так и полного сгорания подстилки образуется зола, что в дальнейшем влияет на химизм верхнего слоя почвы. Подобные особенности отмечались в разных природных зонах Украины. Поступления пепла в почву приводило к росту pH верхнего гумусового горизонта. Поскольку такое явление является одноразовым, то в дальнейшем после дождей значение pH водной вытяжки снижалось до естественного уровня. Причиной пирогенных изменений является высокое содержание в золе щелочных металлов. Интенсивность изменений реакции и содержания щелочных катионов зависит от уровня сгорания подстилки. Наиболее ощутимые изменения происходят при полном сгорании подстилки. Указанные изменения имеют поверхностный характер, то есть в основном характерны только для верхнего слоя почвы. На большей глубине реакция не отличается от контроля.

К л ю ч е в ы е с л о в а : лесной пожар, подстилка, зола, кислотность, ионы.

E-mail: voron@uriffm.org.ua

Одержано редколегією: 23.09.2019