

УДК 546.23:162.94(477.87)

ХІМІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ У ҐРУНТАХ І ЛІЗИМЕТРИЧНИХ ВОДАХ ЕКОСИСТЕМ ЧОРНОГОРИ (УКРАЇНСЬКІ КАРПАТИ)

Є. Пука, В. Козловський

*Інститут екології Карпат НАН України
вул. Козельницька, 4, Львів 79026, Україна
e-mail: vkozlovskyy@gmail.com*

На основі даних про гранулометричний склад, кислотність (актуальну, обмінну, гідролітичну), $C_{\text{орг.}}$, суму обмінних основ, вміст мікро- та макроелементів (Zn, Ni, Cd, Fe, Mn, Cu, Sr, K, Na, Pb, Al, Ca, Mg, Si, SO_4) у твердій фазі ґрунту і відповідних показників у природних водах проаналізовано процеси, які відбуваються у ґрунтах лучного та смерекового угруповання з точки зору буроземотворення. Кислотність лізиметричних вод, як і кислотність твердої фази ґрунту значно вищі у лісовому угрупованні, порівняно з лучним. Вимивання глинистих частинок із верхніх горизонтів ґрунту лісової екосистеми відбувається у 2–3 рази інтенсивніше, ніж у лучній. Вміст органічної речовини й обмінних основ однаковий для гумусового горизонту обох типів екосистем, але нижня частина ґрунтового профілю смеречини збагачена цими складовими. Виявлено інтенсивне вимивання хімічних елементів і слабку їхню диференціацію у ґрунтовій товщі обох типів екосистем. Хімічний склад лізиметричних вод, коефіцієнт розподілу елементів у системі ґрунт-лізиметричні води (Kd), співвідношення $SiO_2:Al_2O_3$ свідчать про інтенсивніші процеси вивітрювання у лісовій екосистемі. Показано, що процеси, які відбуваються у ґрунтах досліджених рослинних угруповань, є односпрямованими і характерними для процесу буроземотворення території дослідження. Однак, незважаючи на односпрямованість, перетворення гірських порід відбувається значно інтенсивніше у ґрунті лісової екосистеми, порівняно з лучною.

Ключові слова: буроземи, лізиметричні води, хімічні елементи

Розглядаючи ґрунтову вологу як одну із найважливіших категорій природних вод у біосфері, В.І. Вернадський вважав її “основним субстратом життя” і “основним елементом механізму біосфери” [2]. Трансформація продуктів вивітрювання, розкладання органічної речовини, розчинення й новоутворення мінералів, рух, перерозподіл і винесення хімічних елементів за межі ґрунтового профілю, тобто усі процеси хімічного та біотичного перетворення речовини у ґрунті відбуваються за участі й безпосередньо у рідкій фазі. Вивчення ґрунтових вод дає можливість оцінити динамічні процеси, що відбуваються у ґрунті, й уявити сучасні тенденції процесу ґрунтоутворення. Особливо інформативними лізиметричні методи є у дослідженнях функціонального стану екосистем, коли вплив тих чи інших факторів (природних або антропогенних) призводить до розбалансування екосистеми і переходу її до функціонування на новому рівні. Зміни функціонального стану екосистем відобразатимуться на фізичних і фізико-хімічних параметрах ґрунтів, у першу чергу на фізико-хімічних параметрах ґрунтових вод. Оцінка ступеня змін властивостей ґрунтового розчину в контексті ґрунотвірних процесів, характерних для даної території, може стати основою для ранньої діагностики стану і тенденцій трансформації екосистем.

Об’єкти, матеріали та методика

Дослідження проводили на території Карпатського національного природного парку. Пробні площі займають південно-східний схил гори Пожижевська. Монодомінантне

корінне угруповання смереки європейської (*Picea abies* (L.) H. Karst.), смеречина чорницева (*Piceetum myrtillosum*) розташоване на схилі південно-східної експозиції 50 м нижче верхньої межі лісу на висоті 1350 м н.р.м; всохла досліджувана ділянка смерекового лісу площею $\approx 500 \text{ м}^2$ – поряд на тій же висоті. Лучне угруповання, червонокостричник різно-травний, сформоване переважно злаками, площею $\approx 200 \text{ м}^2$ розташоване вище по схилу на висоті 1400 м н.р.м. на ділянці, що останні кілька десятиліть після припинення випасу за-ростає смерекою (урочище Язык).

Зі зразків ґрунту, відібраних за генетичними горизонтами, виділяли дрібнозем (фракція $< 1,0 \text{ мм}$), у якому визначали кислотність (актуальну, гідролітичну, потенційну), рухомий алюміній, суму обмінних основ, ступінь насиченості основами [1] та вміст органічної речовини [8]. Гранулометричний склад ґрунту визначали методом піпетки за Качинським [3]. Підготовку ґрунтових зразків до аналізу на валовий вміст Zn, Ni, Cd, Fe, Mn, Cu, Sr, K, Na, Pb, Al здійснювали послідовною обробкою попередньо прожареної за $450 \text{ }^\circ\text{C}$ проби ґрунту (дрібнозему) спочатку HF, а потім сумішшю HCl та HNO_3 у співвідношенні 3:1 [5].

Лізиметричні води відбирали за допомогою гравітаційних лізиметрів [12]. Зразки природних вод із лізиметрів та опадовловлювачів відбирали після інтенсивних дощів протягом вегетаційного сезону.

Метали, за винятком Al, Ca та Mg, визначали атомно-абсорбційним (Zn, Ni, Cd, Fe, Mn, Cu, Pb) або атомно-емісійним (Sr, K, Na) методом на спектрофотометрі C115M1 у пропан-бутановому полум'ї з використанням дейтерієвого коректора неселективної абсорбції. Визначення проводили у трьох повторностях. Відносна похибка за $P=95 \%$ не перевищувала 5 %. Al визначали з алюміноном [9], Ca та Mg комплексометрично [1], SO_4^{2-} – спектрофотометрично з хроматом барію [9], Si – модифікованим методом Малена і Райлі [11].

Результати і їхнє обговорення

Гранулометричний склад ґрунту (табл. 1) свідчить про збіднення мулистими частинками ($> 0,001 \text{ мм}$) верхньої частини ґрунтових розрізів усіх досліджуваних угруповань, з одночасним оглиненням середньої частини ґрунтового профілю. Тобто у досліджених ґрунтових розрізах наявні ознаки лесиважу – гідромеханічного перенесення мулистих частинок дрібнозему ($> 0,001 \text{ мм}$) з поверхневих елювіальних горизонтів і їхня акумуляція в елювіальних шарах ґрунтового профілю (без руйнування алюмосилікатів). Помітно, що цей процес більш виражений у лісовому угрупованні, де накопичення мулистих частинок відбувається вже від глибини 10 см, тоді як у профілі лучного угруповання слабке оглинення виявлене тільки в перехідному до материнської породи горизонті на глибині нижче 40 см. Інтенсивність лесиважу в ґрунтах досліджуваних екосистем оцінювалася відповідно до чотирибальної шкали, запропонованої А.А. Роде [10]. Шкала Роде побудована на оцінці співвідношень вмісту мулу в досліджуваному горизонті до його вмісту в материнській породі. Ознак лесиважу немає, якщо вміст мулу відрізняється не більш ніж на 3 %, лесиваж виражений слабо, якщо є різниця в межах 3–10 %, середній ступінь лесиважу – 10–50 %, а ознакою інтенсивного лесиважу є різниця у накопиченні мулистих частинок більше 50 %. У ґрунтах досліджених лісових екосистем (у т. ч. всихаючої) ця різниця становить 15–20 % для горизонтів H_p і Ph, тобто відповідає середньому ступеню лесиважу. У лучному угрупованні, як було зазначено, лесиваж притаманний лише горизонту Ph і виражений слабо – різниця становить лише 7 %. Тут необхідно відзначити, що явище оглинення є типовим, хоча і не обов'язковим для карпатських буроземів [7]. Збіднення верхнього густо пронизаного корінням гумусового горизонту глинистими частинками, очевидно, відбувається насамперед унаслідок гідромеханічного перенесення мулистих частинок дрібнозему ($> 0,001 \text{ мм}$) з поверхневих горизонтів в елювіальні шари ґрунтового профілю. Однак оглинення серед-

Таблиця 1

Гранулометричний склад ґрунтів Черногори, 06.2014

Горизонт, см	Розмір частинок в мм, кількість в %					
	фізичний пісок			фізична глина		
	пісок		пил			
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	>0,001
Всохла смеречина чорницева						
H 0-5	3.65	29.79	26.60	7.04	27.04	5.88
Hp 10-40	0.80	24.67	25.22	8.23	20.19	20.89
Ph 40-70	0.24	11.48	33.88	11.84	21.92	20.64
P 70-75	5.15	12.77	35.20	10.64	18.92	17.32
Смеречина чорницева						
H 0-7	9.21	39.11	22.52	7.80	15.44	5.92
Hp 7-40	0.95	12.49	35.50	6.78	21.58	22.67
Ph 40-70	0.85	10.63	28.20	13.08	25.52	21.72
P 70-75	2.42	7.30	32.52	15.08	24.52	18.16
Червонокостричник різнотравний						
H 0-5	6.88	21.40	28.56	7.76	22.92	12.48
Hp 5-40	0.29	21.23	14.42	21.57	18.46	24.04
Ph 40-70	2.04	23.88	6.08	14.36	24.48	29.20
P 70-75	0.03	26.33	6.68	10.64	29.12	27.20

ньою частини ґрунтових профілів може бути пов'язане не лише з лесиважем, а й з активним перетворенням первинних мінералів на глинисті внаслідок біотичних процесів розкладання органічної речовини, що спричиняє кислотний гідроліз алюмосилікатів.

Для досліджених буроземів характерна підвищена кислотність верхнього гумусового горизонту, як актуальна, так і потенційна (табл. 2). Варто відзначити вищу кислотність верхньої органомісної частини профілю лісової екосистеми, порівняно з лучною, особливо на фоні значно нижчої кислотності ґрунтоутвірної породи під лісом. Вниз по профілю кислотність знижується. Однак зміна кислотності ґрунту з глибиною відбувається неоднаково в лучному і смерековому угрупованнях. У ґрунті лісової екосистеми кислотність змінюється відповідно до зміни ґрунтових горизонтів – із максимальними значеннями в гумусовому до мінімальних у материнській породі, а вміст рухомого алюмінію та потенційна кислотність зменшується разом із показниками актуальної кислотності. У формуванні кислотності верхніх горизонтів ґрунту як лісового, так і лучного угруповання значний вплив,

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості ґрунтів Черногори, 06.2014

Горизонт, см	рН (H ₂ O)	C _{орг.}	Обмінна кислотність	Гідролітична кислотність	Рухомий Al	Сума обмінних основ	Ступінь насиченості основами
		%					
Всохла смеречина чорницева							
H 0-5	3.90	13.44	17.09	46.79	10.61	3.92	7.73
Hp 10-40	4.12	1.97	15.68	18.00	9.44	1.40	7.36
Ph 40-70	4.51	0.99	11.23	11.39	7.30	2.12	15.69
P 70-75	4.76	0.39	6.18	7.32	5.14	2.84	27.95
Смеречина чорницева							
H 0-7	3.94	14.33	21.36	56.96	12.72	3.92	6.44
Hp 7-40	4.25	3.35	19.94	22.22	13.08	1.58	6.66
Ph 40-70	4.79	2.35	8.79	11.40	6.77	5.36	31.98
P 70-75	4.99	1.30	1.63	4.88	1.39	8.60	63.80
Червонокостричник різнотравний							
H 0-5	4.03	11.82	19.20	34.50	14.47	3.56	9.35
Hp 5-40	4.45	2.70	20.10	21.81	13.92	2.30	9.54
Ph 40-70	4.37	1.24	18.72	19.53	12.43	1.76	8.27
P 70-75	4.28	0.81	17.09	15.62	10.99	1.40	8.23

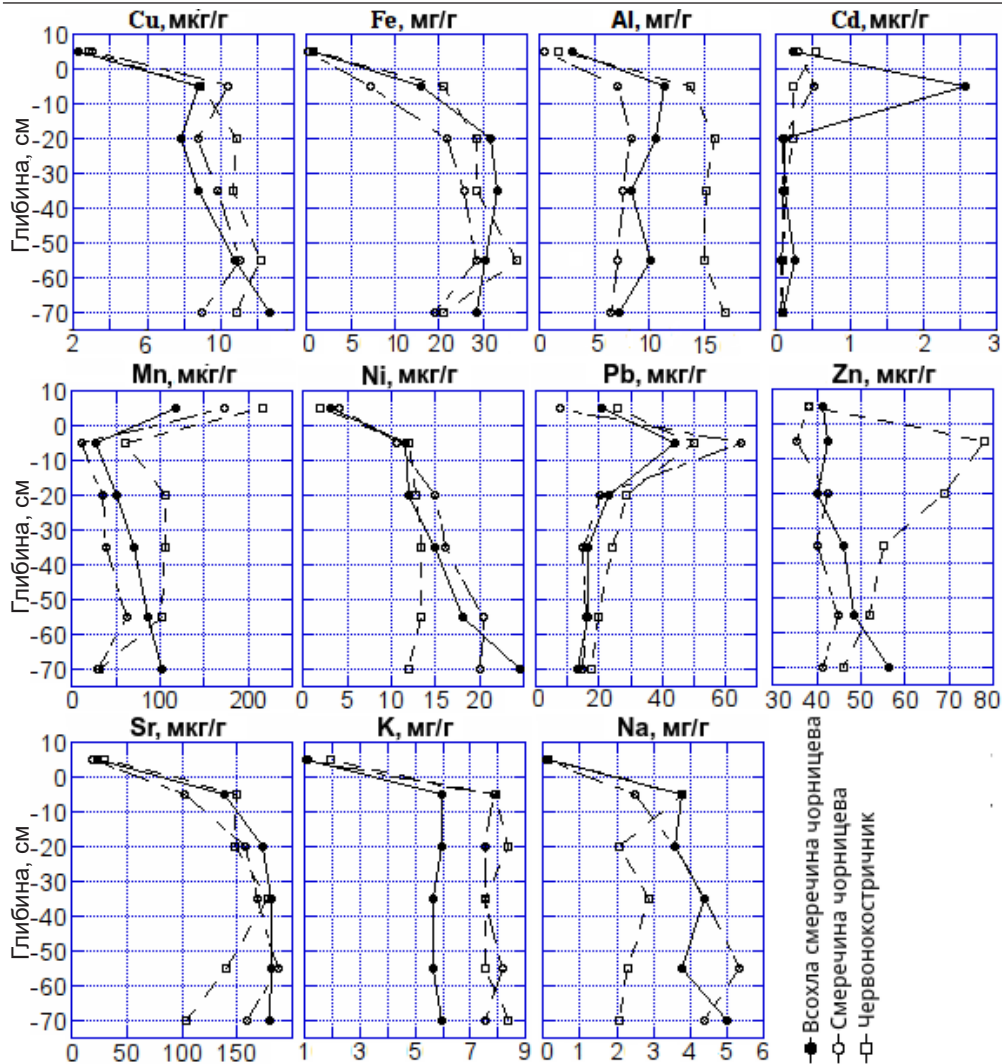
закономірно, мають іони водню – наслідок дисоціації органічних кислот, тоді як у мінеральних горизонтах кислотність визначається в основному рухомим алюмінієм. У лучній екосистемі зміна кислотності менш контрастна, її показники, особливо у нижній частині профілю, помітно вищі від аналогічних показників смерекового лісостану. На відміну від ґрунту лісової екосистеми, значна частка у формуванні потенційної кислотності нижньої частини ґрунтового профілю припадає на іони водню, а з ростом актуальної кислотності потенційна кислотність і вміст рухомого алюмінію зменшуються. Порівняння показників кислотності ґрунту живого смерекового деревостану зі всихаючим угрупованням свідчить, що показники актуальної кислотності ґрунту помітно нижчі від аналогічних показників всихаючого деревостану по всій глибині розрізу, а потенційна кислотність (у т. ч. рухомий Al) залишається нижчою лише у нижній, перехідній до материнської породи частині ґрунтового профілю, тоді як органічні горизонти верхньої частини розрізу мають показники помітно вищі, порівняно з угрупованням, що перебуває на стадії всихання.

Вміст органічної речовини у ґрунтах досліджених угруповань досить високий, що, враховуючи відзначену раніше для карпатських буроземів позитивну кореляцію вмісту гумусу з висотою [7], очікувано. Значної різниці між вмістом органічної речовини у смерековій і лучній екосистемах не виявлено, однак варто відзначити помітно вищий її вміст у нижній частині ґрунтового профілю смеречини. Порівняно зі всихаючою ділянкою смерекового лісу, вміст органічного вуглецю у живій смеречині суттєво вищий, незважаючи на більшу кількість опадів, що розкладається у всихаючому деревостані. Очевидно, зі збільшенням інтенсивності розкладання відмерлої фітомаси у ґрунті одночасно створюються й умови для інтенсивнішого виведення вивільненої органічної речовини за межі екосистеми.

Сума обмінних основ і ступінь насиченості основами верхньої частини ґрунтового профілю лучного та смерекового угруповань майже однакові й дуже низькі за абсолютними показниками. У нижній частині розрізу, практично за межами кореневмісного шару, ці показники є значно вищими у смеречині. Як і у випадку з лучним угрупованням, сума обмінних основ і ступінь насиченості ними верхньої частини ґрунтового розрізу всихаючої лісової ділянки мало відрізняється від аналогічних показників живого смерекового угруповання, тоді як показники нижньої частини профілю принаймні удвічі нижчі.

Валовий вміст хімічних елементів у досліджених ґрунтах свідчить про значну вилуженість розрізів і слабку диференційованість ґрунтових горизонтів за вмістом більшості досліджених хімічних елементів (див. рисунок). Контрастних геохімічних бар'єрів у мінеральній частині ґрунтового профілю немає. Сорбційні бар'єри, приурочені до перехідних горизонтів (Hr, Ph), малоємнісні, і процеси вилуговування елементів є явно доміантними. Лише вміст Pb та Cd у гумусовому горизонті досліджуваних угруповань і вміст Zn у ґрунті лучної екосистеми кратно перевищує концентрації цих елементів у материнській породі. Якщо високі концентрації свинцю і кадмію можуть мати техногенне походження, то високий вміст цинку у верхній частині ґрунтового розрізу лучного угруповання в поєднанні з низьким вмістом у підстилці й материнській породі пояснити важко. Для всіх досліджених розрізів характерне біогенне накопичення Mn у підстилці. За абсолютними значеннями вміст хімічних елементів у досліджених розрізах, за винятком Pb та Cd у гумусовому горизонті, помітно нижчий від кларку літосфери за Виноградим [4].

Отже, фізико-хімічні властивості та гранулометричний склад досліджених ґрунтів, незважаючи на близьке розташування дослідних ділянок (не більше 100 м), свідчать про трохи різні властивості материнської породи під лучним і лісовим угрупованнями, що, зважаючи на складну геологічну історію формування карпатського флішу, було достатньо ймовірним. Кислотність, як актуальна, так і потенційна, вміст обмінних основ і ступінь на-



Валовий вміст хімічних елементів у ґрунтах Чорногори, 06.2014

сиченості основами виявилися вищими в підстилаючих породах смерекового угруповання, а вміст глинистих частинок – у материнській породі лучного. На сьогодні показано, що буроземоутворення супроводжується вимиванням основ із мінеральних горизонтів і рослинних залишків під час їхнього розкладання. Під час цього у зв'язку з нестачею нейтралізуючих катіонів у ґрунтовий розчин вивільнюються органічні кислоти, що призводить до значного підкислення, а надлишок протонів, у свою чергу, сприяє руйнуванню мінеральної частини ґрунту внаслідок кислотного гідролізу алюмосилікатів. Тобто буроземоутворення супроводжується підкисленням ґрунтового розрізу і зменшенням вмісту обмінних основ по всьому профілю. Органічні горизонти ґрунту лучної екосистеми на фоні кислішої та біднішої на основи материнської породи виявилися менш кислими і багатшими на обмінні основи, порівняно з лісовим угрупованням, материнська порода ґрунту якого є менш кислою та значно багатшою на обмінні основи. Буроземоутворення в Карпатах супрово-

джується також вимиванням мулистих частинок із верхньої частини ґрунтового розрізу [7]. Незважаючи на вищі абсолютні показники вмісту мулу в гумусовому горизонті ґрунту лучного угруповання, ступінь вимивання мулистих частинок є вдвічі інтенсивнішим у лісовому угрупованні, про що свідчить його вміст відносно нижче розташованого горизонту Нр. Помітним також є вищий вміст органічного вуглецю практично по всьому профілю смерекового угруповання, що, з огляду на відому роль органічних кислот у процесах руйнування первинних мінералів і оглинення, може бути причиною вищого вмісту глинистих частинок у ґрунті смерекового угруповання, порівняно з лучним.

Фізико-хімічні властивості, механічний склад ґрунту, близьке розташування ділянок живого смерекового лісу та всихаючого угруповання (не більше 30 м) дають підстави стверджувати про незначні відмінності підстилаючих порід. Верхні органогенні горизонти майже не відрізняються за фізико-хімічними властивостями та механічним складом. Невелика різниця у показниках лежить у межах природних статистично обумовлених відхилень. Однак нижні перехідні до материнської породи мінеральні горизонти помітно відрізняються. Показники обмінної та гідролітичної кислотності, в т. ч. рухомий Al, виявилися істотно вищими у всихаючому деревостані. Як наслідок, вища кислотність спричиняє інтенсивніше вимивання основ із ґрунтового профілю, про що свідчать у кілька разів нижчі значення суми обмінних основ і ступеня насиченості основами мінеральних горизонтів всихаючого угруповання. Тобто є підстави стверджувати, що процеси розпаду органічної речовини в основному відбуваються в органогенних горизонтах, звідки в умовах інтенсивного промивного режиму разом із продуктами вивітрювання органічний вуглець виводиться у мінеральні горизонти, несучи достатньо високий потенціал перетворення первинних мінералів і подальшого вимивання основ уже в нижній частині ґрунтового розрізу. Іншими словами, зростання інтенсивності розпаду органічної речовини призводить до збільшення кислотності, збіднення ґрунтового розрізу основами, інтенсифікує трансформацію мінеральної частини ґрунту екосистеми, тобто підсилює процеси, які супроводжують бурозеомоутворення.

Кислотність лізіметричних вод, як і кислотність твердої фази ґрунту, в досліджених угрупованнях має свої особливості. Значення рН лізіметричних вод верхніх органогенних горизонтів, як лучного, так і лісового угруповання, включаючи підстилку, протягом вегетаційного періоду змінюється від найвищої концентрації протонів у літній період до нижчої у весняний (табл. 3). Найкислішими, що характерно для буроземів, виявилися води гумусового горизонту. На межі горизонтів Нр-Ph лізіметричні води обох угруповань стають менш кислими. Істотної різниці кислотності між лізіметричними водами підстилкового і гумусового горизонтів лучного та лісового угруповань не виявлено. Нижче за профілем води перехідного органогенного горизонту Нр лісового угруповання, незважаючи на трохи вищу кислотність вод розташованого вище гумусового горизонту, помітно менш кислі від вод аналогічного горизонту лучної екосистеми. На нашу думку, це пов'язано з нейтралізацією кислих вод гумусового горизонту основами мінеральної складової ґрунту, сформованого на більш ненасиченій основами материнській породі лісового угруповання, порівняно з лучним. На фоні менш кислих материнських порід зберігається принаймні не нижча, порівняно з лучним угрупованням кислотність лізіметричних вод гумусового горизонту лісової екосистеми. Тобто отримані дані щодо кислотності лізіметричних вод лісової та лучної екосистеми не суперечать результатам аналізу кислотності твердої фази ґрунту. Порівнюючи кислотність вод живої смерекової екосистеми зі всихаючою, можна стверджувати про значно кисліші води з-під горизонту Нр всихаючого угруповання, що знову ж таки не суперечить даним аналізу кислотності твердої фази ґрунту. Загалом, отри-

Таблиця 3

Концентрації хімічних елементів у лізиметричних водах Чорногори
(межі коливань, $X \pm \sigma$), 01.09.2014–01.09.2015

Елемент	Угруповання								
	червонокостричник різнотравний			смеречина чорницева			всохла смеречина чорницева		
	Грунтові горизонти								
	Н ₀	Н	Н _p	Н ₀	Н	Н _p	Н ₀	Н	Н _p
Zn,	69-133	120-265	51-102	118-183	63-116	25-298	130-411	138-396	127-239
мкг/л	98±32	173±80	61±37	160±36	88±27	140±145	238±152	260±130	191±59
Cd,	0.05-0.17	0.14-0.25	0.06-0.10	0.08-0.30	0.22-0.35	0.05-0.31	0.17-0.50	0.35-0.69	1.38-1.67
мкг/л	0.11±0.06	0.20±0.06	0.08±0.02	0.17±0.11	0.27±0.07	0.18±0.13	0.32±0.17	0.55±0.18	1.51±0.15
Ni,	1.2-2.5	1.3-1.8	1.1-1.8	2.0-4.6	1.9-3.0	1.9-2.5	4.6-7.9	4.0-7.9	16.2-19.8
мкг/л	1.6±0.8	1.4±0.3	1.5±0.4	3.4±1.3	2.3±0.6	2.2±0.3	6.2±1.7	6.4±2.1	18.0±1.8
Pb,	1.8-3.5	1.1-6.0	0.4-6.0	1.9-4.4	1.7-2.5	0.4-0.6	2.6-4.0	2.5-5.8	0.5-3.2
мкг/л	2.5±0.9	2.9±2.7	2.6±3.0	2.9±1.3	2.0±0.4	0.5±0.1	3.1±0.8	3.9±1.7	1.8±1.4
Cu,	2.3-3.7	2.0-3.0	0.8-1.5	2.7-3.7	1.5-3.4	0.8-2.6	3.2-5.5	3.5-4.5	2.0-3.2
мкг/л	2.9±0.7	2.4±0.5	1.2±0.4	3.2±0.5	2.7±1.0	1.5±1.0	4.4±1.2	4.1±0.6	2.8±0.7
Fe,	215-290	100-136	100-320	181-337	130-252	20-115	328-950	177-1043	60-94
мкг/л	255±38	122±20	198±112	249±80	198±62	71±48	696±326	694±456	78±17
Mn,	83-169	37-94	10-25	33-152	7-17	7-19	221-692	215-597	160-221
мкг/л	124±43	70±30	15±9	93±60	12±5	11±7	416±246	380±197	194±31
Sr,	37-191	11-37	6-14	22-81	8-33	4-14	53-139	28-143	33-57
мкг/л	90±87	23±13	10±4	46±31	17±14	8±6	87±46	78±59	48±13
K,	2.6-13.5	0.7-1.3	0.2-0.5	1.2-4.2	1.0-1.2	0.2-0.5	8.3-8.5	4.8-11.5	3.2-5.9
мг/л	7.5±5.5	1.0±0.3	0.3±0.2	2.9±1.5	1.1±0.1	0.3±0.2	8.4±0.1	8.8±3.5	4.1±1.5
Na,	0.05-0.24	0.10-0.29	0.15-0.31	0.07-0.17	0.14-0.28	0.34-0.86	0.09-0.16	0.06-0.30	0.24-0.60
мг/л	0.14±0.10	0.16±0.11	0.21±0.09	0.13±0.05	0.23±0.08	0.58±0.26	0.12±0.04	0.20±0.12	0.43±0.18
Ca,	1.3-1.9	1.0-1.6	0.9-1.4	2.9-3.5	0.5-1.0	1.3-1.8	3.3-4.4	3.4-5.2	4.7-6.8
мг/л	1.6±0.3	1.4±0.3	1.1±0.3	3.2±0.3	0.8±0.3	1.7±0.4	4.0±0.6	4.2±0.9	5.0±0.6
Mg,	0.5-0.9	0.4-0.6	0.2-0.3	0.5-0.8	0.4-0.5	0.2-0.5	0.7-1.4	0.9-1.5	1.3-2.3
мг/л	0.7±0.2	0.5±0.1	0.3±0.1	0.6±0.2	0.4±0.1	0.4±0.2	1.0±0.4	1.1±0.3	1.9±0.6
Al,	227-374	270-393	183-430	250-534	340-481	80-146	652-1025	932-1930	2319-4110
мкг/л	307±74	323±63	280±132	414±147	396±75	114±33	796±201	1601±579	2918±1032
Si,	0.38-1.23	0.49-1.03	0.44-0.72	0.40-0.99	0.86-1.46	0.79-0.97	1.83-2.74	1.67-3.60	2.48-4.111
мг/л	0.86±0.44	0.72±0.28	0.61±0.15	0.63±0.32	1.16±0.30	0.88±0.09	2.23±0.47	2.92±1.08	3.35±0.82
SO ₄ ,	2.6-8.3	1.3-3.7	1.9-2.4	3.0-4.6	1.1-2.2	0.7-1.8	2.5-11.2	2.9-13.9	3.0-5.0
мг/л	5.1±2.9	2.7±1.2	2.1±0.3	4.1±0.9	1.7±0.6	1.2±0.6	5.5±5.0	7.9±5.6	4.1±1.0
pH	4.7-5.7	4.6-5.2	4.7-5.3	4.8-6.1	4.4-5.2	4.8-5.8	4.3-5.8	4.6-5.8	4.1-4.6
	5.1±0.5	4.8±0.3	4.9±0.3	5.3±0.7	4.7±0.4	5.3±0.5	5.0±0.7	5.0±0.8	4.3±0.3

мані дані про кислотність лізиметричних вод свідчать про односпрямованість сучасних процесів трансформації ґрунту з природними процесами буроземоутворення, які є характерними для даної території. Як і аналіз кислотності твердої фази, кислотність лізиметричних вод свідчить про інтенсивніші процеси трансформації гірських порід у лісовому угрупованні, порівняно з лучним, і у висихаючій екосистемі, порівняно з живим смерековим угрупованням.

Про інтенсивніші процеси руйнування первинних мінералів твердої фази ґрунту лісової екосистеми, порівняно з лучною, і висихаючого лісостану, порівняно з живою смерековою екосистемою, свідчить також вміст основних мінералоутворюючих елементів (Al, Fe, Si) у лізиметричних водах. Так, вміст Al, Fe і Si в лізиметричних водах лучної екосистеми рівномірний по цілому профілю, тоді як у водах лісової екосистеми найвищі концентрації цих елементів припадають на гумусовий горизонт, де вплив органічних кислот на деструкцію мінеральної складової ґрунту, очевидно, істотніший. На межі перехідного до материнської породи горизонту Ph лісової екосистеми вміст лабільних Al, Fe і Si різко

зменшується, особливо Al та Fe, що свідчить про їхнє накопичення у верхній частині ґрунтового профілю і є типовою ознакою буроземів загалом.

Мобільність хімічних елементів у ґрунті часто оцінюють за допомогою коефіцієнта розподілу Kd, який визначають як співвідношення між концентрацією металу в твердій фазі ґрунту до його концентрації у ґрунтовому розчині (табл. 4). Високі значення Kd свідчать про те, що елемент міцно утримується твердою фазою і його рухливість незначна, тоді як низькі значення коефіцієнта, навпаки – про його біотичну або геохімічну активність і здатність до переміщення. Коефіцієнт розподілу елементів у системі ґрунт-лізіметричні води також свідчить про інтенсивне вилуговування Al і Fe з мінеральної частини гумусового горизонту лісової екосистеми, тоді як у ґрунті лучного угруповання інтенсивність цього процесу рівномірна по всій товщі профілю. Тобто Kd свідчить про накопичення рухомого алюмінію у верхній частині досліджуваних ґрунтових розрізів, що є типовим для буроземів, і відбувається це активніше у лісовій екосистемі, порівняно з лучною.

Інформативним показником руйнування кристалічних решіток мінералів є молярні співвідношення $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$. Як і у випадку з Kd, співвідношення $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ у лізіметричних водах лучного угруповання за абсолютними значеннями є нижчими, порівняно зі смерчиною, і однакові в цілому розрізі (H=3.6; Hp=3.6), тоді як у лісовій екосистемі ця величина значно вища, порівняно з лукою, і більш ніж удвічі вища в перехідному до материнської породи горизонті (H=5; Hp=13.6), порівняно із гумусовим. Це, як і попередні показники, свідчить про активне руйнування алюмосилікатів у гумусовому горизонті лісової екосистеми, накопичення в ньому лабільних форм алюмінію і активніше, порівняно з Al, вимивання Si за межі верхнього біологічно активного шару ґрунтового розрізу.

Порівнюючи вміст Al, Fe і Si у лізіметричних водах живої та всихаючої смеречин, видно, що він у рази вищий у водах всихаючого деревостану. Очевидно, що це наслідок інтенсивного розкладання відмерлої фітомаси (в т.ч. підземної), що призводить до незбалансованості біогеохімічного колообігу, коли кількість елементів, які надходять в екосистему, значно перевищує ту кількість, яка може нею засвоїтися. У такій ситуації інформативні для стабільних екосистем коефіцієнт Kd і співвідношення $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ у нестабільній системі вже не відображають внутрішньоґрунтових процесів, бо у їхньому формуванні в цьому

Таблиця 4

Коефіцієнти розподілу елементів у системі “ґрунт-лізіметричні води”
(Kd, мл/г) в екосистемах Чорногори

Елемент	Угруповання								
	червонокостричник різнотравний			смеречина чорницева			всохла смеречина чорницева		
	ґрунтовий горизонт								
	H ₀	H	Hp	H ₀	H	Hp	H ₀	H	Hp
Zn	388	452	859	239	404	310	173	164	266
Cd	4726	1094	940	1738	1908	383	758	4653	169
Ni	1200	7892	7625	1210	4562	9534	515	1799	1002
Pb	10447	16257	6463	2656	32150	29775	6619	11238	9123
Cu	989	3630	8475	942	3825	7455	528	2143	3879
Fe	2720	125696	100488	922	36532	272665	1181	18776	261158
Mn	1738	845	5916	1854	950	5765	284	72	441
Sr	329	6650	12092	417	5881	24711	276	1766	3767
K	256	7587	20991	387	7213	25895	128	677	1369
Na	958	22802	8727	516	10918	9167	1114	18718	8802
Ca	321	72	77	309	119	59	880	24	20
Mg	351	752	587	163	482	782	785	177	103
Al	5866	41232	44554	1212	17912	61869	3809	7121	3438

разі вирішальне значення мають не процеси, які відбуваються у ґрунті, а співвідношення між елементами в органічній речовині, яка розкладається. Однак навіть беручи до уваги лише абсолютні показники вмісту елементів, видно, що концентрації Al і Si в лізіметричних водах з глибиною зростають (табл. 3). Це свідчить про те, що відбувається не лише надходження цих елементів із верхніх горизонтів, насамперед з органічною речовиною, а й додаткова мобілізація з мінеральної складової ґрунту внаслідок біогеохімічних умов, які склалися через інтенсивне розкладання відмерлої фітомаси. Різке зменшення концентрації заліза за високих значень Al у горизонті Нр угруповань, можливо, спостерігається через вищий рН поріг випадання $Al(OH)_3$ в осад, порівняно з початком випадання в осад $Fe(OH)_3$ – 4.1–6.5 проти 2.5–4.5, відповідно. Тобто в геохімічних умовах, які склалися через інтенсивний розпад органічної речовини, Al є більш рухливим, ніж Fe.

Не можна оминати важливої ролі підстилки у процесах буроземоутворення, що відзначав ще один із перших дослідників буроземів С.В. Зонн [6]. За результатами досліджень, вміст хімічних елементів у лізіметричних водах підстилки порівняний із концентраціями елементів у водах гумусового біогеохімічно найактивнішого ґрунтового горизонту. У всохлій смеречині продуктів розкладання підстилки через більшу кількість відмерлої фітомаси набагато більше, а отже, і їхній вплив на ґрунтові процеси значніший, ніж у живій смеречині. Вищі концентрації хімічних елементів у лізіметричних водах (табл. 3), як і Kd (табл. 4), у смеречині сухій, порівняно із живою смеречиною, свідчать про значно інтенсивніше виведення усіх досліджених елементів з органогенних горизонтів ґрунтового профілю і цілої екосистеми.

Отже, фізико-хімічні властивості ґрунту і розподіл мулистих частинок у товщі ґрунтових розрізів свідчать, що ґрунотвірна порода під лісовим і лучним угрупованнями зазнає однакових змін (оглинення, підкислення, збільшення вмісту органічної речовини, збіднення основами), проте під лісовим угрупованням ці зміни відбуваються значно інтенсивніше. Активне розкладання органічної речовини у всихаючому смерековому угрупованні, незважаючи на нетривалість процесу (кілька років), відображається на фізико-хімічних параметрах твердої фази ґрунту. На нашу думку, це відбувається насамперед за рахунок високих концентрацій продуктів розкладання відмерлої фітомаси у рідкій фазі. Валовий вміст хімічних елементів і їхній розподіл по ґрунтовому профілю є характерним для буроземного типу ґрунтоутворення. Незважаючи на певну різницю абсолютних показників вмісту, що може бути зумовлено материнською породою, загальний характер розподілу досліджених мікро- та макроелементів є схожим у лучному і смерековому угрупованнях – значна вилуженість розрізу, відсутність контрастних геохімічних бар'єрів у мінеральних горизонтах і концентрація елементів у верхніх органогенних шарах.

Отже, фізико-хімічні властивості лізіметричних вод не суперечать встановленим фізико-хімічним параметрам твердої фази об'єктів дослідження і свідчать про односпрямованість сучасних процесів трансформації ґрунту з природними процесами буроземоутворення, які є характерними для даної території. Проте ці процеси інтенсивніше відбуваються в лісовій екосистемі, порівняно з лучною. Збільшення кількості відмерлої органічної речовини та її інтенсивний розпад у всихаючій смеречині зумовлюють і сильніший вплив на процеси, які відбуваються у ґрунті, порівняно зі смеречиною без ознак всихання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Аринушкина Е. В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 488 с.
2. *Вернадский В. И.* Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 420 с.
3. Визначення гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського. ДСТУ 4730:2007. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 14 с.

4. *Виноградов А. П.* Среднее содержание элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // *Геохимия*. 1962. № 7. С. 555–557.
5. *Гелетюк Н. И., Золотарева Б. Н.* Метод подготовки почв к атомно-абсорбционному определению микроэлементов // *Опыт и методы экологического мониторинга*. Пушино, 1978. С. 255–260.
6. *Зонн С. В.* О некоторых вопросах изучения генезиса и плодородия лесных почв Литовской ССР // *Исследование и картирование лесных почв*. Каунас, 1964. С. 23–33.
7. *Канивец В. И.* Буроземы в горно-луговом поясе Украинских Карпат и вопросы генезиса почв буроземного типа // *Почвоведение*. 1980. № 8. С. 108–117.
8. *Никитин Б. А.* Определение содержания гумуса в почве // *Агрохимия*. 1972. Т. 3. С. 123–125.
9. *Практикум по агрохимии* / под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 1989. 304 с.
10. *Роде А. А.* К вопросу об оподзоливании и лессиваже // *Почвоведение*. 1964. №7. С. 9–23.
11. *Титова В. И., Дабахова Е. В., Дабахов М. В.* Агро- и биохимические методы исследования состояния экосистем: учеб. пособие. Нижегород. гос. с.-х. академия. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2011. 170 с.
12. *Шилова Е. И.* Метод получения почвенного раствора в природных условиях // *Почвоведение*. 1955. № 11. С. 86–90.

Стаття: надійшла до редакції 02.10.17

доопрацьована 27.12.17

прийнята до друку 25.01.18

CHEMICAL ELEMENTS CONTENT IN SOIL AND LYSIMETRIC WATERS OF CHORNOGORA MOUNTAIN REGION ECOSYSTEMS (EASTERN CARPATHIANS, UKRAINE)

E. Puka, V. Kozlovsky

*Institute of Ecology of the Carpathians, NAS of Ukraine
4, Kozelnytska St., Lviv 79026, Ukraine
e-mail: vkozlovskyy@gmail.com*

Physicochemical properties and chemical elements content in soils and soil infiltrate of the mature spruce forest and cereal meadow communities were investigated. Using data of particle size distribution, acidity, organic matter, total of exchange bases, element content (Zn, Cd, Ni, Pb, Cu, Sr, Mn, Fe, K, Na, Ca, Mg, Al) in soil solid phase and appropriate indices of lysimetric waters soil formation processes were analyzed. Acidity of soil infiltrates, as the same of solid phase solution, is significantly greater in forest ecosystem too. Leaching of clay particles from the upper soil horizon of the spruce forest is 2 to 3 times higher than it is in meadow ecosystem. Organic matter and exchange bases content in upper soil horizons were within the same range for both ecosystems, but lower part of spruce forest soil profile compared to meadow bottom horizons is enriched with those components. Nutrient content and its distribution within both investigated soil profiles indicates a significant leaching and weak differentiation of the soil horizons for most of the investigated chemical elements. Chemical elements content of lysimetric waters, solid/liquid partition coefficients (K_d), SiO₂:Al₂O₃ ratios indicate more notable leaching processes in forest ecosystem. As a result, it has been shown that brown soil forming processes are the same for both types of vegetation communities but are more intense under conditions of forest ecosystem.

Keywords: brown forest soils (burozems), lysimetric waters, chemical elements