

УДК 504.064:631.4+537.534.8

І.Є. Митропольський, В.С. Буксар, М.І. Лінтур, С.С. Поп  
Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 45  
e-mail: mitropolija@mail.ru

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ІОН-ФОТОННОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ В ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Апробована інформаційна можливість методу іон-фотонної спектроскопії для оцінки стану екологічного забруднення компонентів ландшафтів придорожньої смуги автодороги Ужгород Чоп. Виявлено наявність у ґрунті та рослинницькій продукції поллютантів, джерелами яких є автотранспорт. Встановлено залежності акумуляції важких металів в ґрунтах і рослинах від властивостей ґрунту та віддаленості від джерела забруднення.

**Ключові слова:** іон-фотонна спектроскопія, забруднення ґрунту, автодорога, важкі метали, транслокація, коефіцієнт біологічного поглинання.

### Вступ

В Україні на національному і локальному рівнях зростає потреба в екологічній інформації про кількісні і якісні зміни в компонентах природного середовища на основі комплексних спостережень [1]. Для Закарпаття, яке має унікальні природні умови, такі спостереження вкрай необхідні. Хімізація сільського господарства, доволі густа транспортна мережа (протяжність автомобільних шляхів загального користування - 3329 км [2], що складає близько 2% від загальної протяжності шляхів України), наявність проблем зберігання промислових відходів та отрутохімікатів, транскордонне забруднення, а також кризові явища в економіці та природокористуванні, призвели до значного збільшення антропогенно трансформованих територій краю, в тому числі, земель с/г призначення та земель присадибних ділянок в населених пунктах. Зважаючи, що значна частина земель низинних та передгірних територій Закарпаття, найбільш придатних для с/г виробництва, розташована поблизу автошляхів є підстави вважати, що опосередковано здоров'я населення залежить від забруднення шкідливими викидами автотранспорту. Так у 2009 році автотранспортом області

викинуто близько 50 тис. т забруднюючих речовин [3].

Враховуючи це, актуальним є необхідність дослідження акумуляції важких металів (ВМ) у ґрунтах вздовж центральних автомагістралей на Закарпатті, транслокації ВМ у фітоценози на цих територіях. В роботі пропонується для геохімічного обстеження ґрунтів та поглинальної здатності рослин застосувати сучасний фізичний метод: іон-фотонної спектроскопії (ІФС), розвинутий і апробований у дослідженнях з фізики поверхні твердого тіла [4]. Перевага його над традиційними методами полягає в тому, що він дає змогу одночасно виявити велику кількість елементів в багатокомпонентних системах, навіть в малих концентраціях, без застосування активних хімічних реагентів, та досліджувати динаміку зміни їх концентрації від зовнішніх факторів. Предметом досліджень є оцінка забруднення небезпечними хімічними елементами с/г земель і рослинницької продукції, що вирощується на присадибних ділянках, розташованих вздовж автодороги Ужгород-Чоп. Об'єктами вивчення є ґрунти, які репрезентують два типи (лучні та болотні ґрунти на терасах (м.Чоп), дернові ґрунти на середніх терасах (с.Сюрте-Ужгород), та картоп-

ля, яка є одним із основних продуктів харчування селян.

### Методика досліджень

Фізичні основи методу ґрунтуються на властивості розпорошених, розсіяних або десорбованих в збудженому стані атомів, іонів, молекул, кластерів ідентифікованих елементів, які утворюються під дією іонного пучка на поверхню, селективно емітувати фотони певних довжин хвиль, визначених для кожного елемента. ІФС — високоточний і чутливий оптичний метод прямого визначення хімічного складу розпорошених частинок, оскільки аналізується спектр емітованих ними фотонів. ІФС вигідно відрізняється високою точністю ідентифікації аналізованих елементів і малою залежністю аналітичного сигналу від зарядки поверхні, а також дистанційністю відбору інформації і відсутністю необхідності утворення спеціальних полів (наприклад, як при застосуванні мас-спектрометричних методів), що забезпечує відносну простоту впровадження методу в технологічний процес. У даній роботі елементний склад ґрунту та картоплі визначався за потоком розпорошених частинок на високо вакуумній установці «Ореол», створеній у ПНДЛ фізичної електроніки. Збурення матеріалу мішені здійснювалося бомбардуванням іонами  $K^+$  з  $E_0 = 10$  кеВ. Випромінювання в спектральній області 250-800 нм аналізувалось світлосильним монохроматором типу МДР-6У, реєструвалось — ФЕУ-106. Запис спектрів іон-фотонної емісії (ІФЕ) здійснювали з використанням самозаписуючого пристрою та автоматичної системи розгортки спектру при стабільному режимі роботи іонного джерела, тобто при однаковій швидкості розпорошення матеріалу мішені. Це давало змогу за відносною інтенсивністю спектральних ліній розпорошених атомів домішок безпосередньо оцінювати відносні концентрації цих домішок. Похибка відносних вимірювань концентрацій елементів методом ІФС не перевищує 5-10 %.

При відборі ґрунтових проб намагались звести до мінімуму антропогенний

тиск від об'єктів комунального господарства, промислових підприємств та с/г комплексів. Вздовж дороги Ужгород-Чоп було обрано 8 ділянок, на відстані 50 м від дорожнього полотна. Дані про місця відбору наведено в табл. 1. Географічні координати ділянок визначались за допомогою приладу GPS і наносилися на карту.

З метою визначення процесу переносу ВМ від джерела забруднення (а саме від автотранспорту) на відкритій місцевості поблизу с.Холмок (ділянка №5) вздовж автодороги Ужгород-Чоп ґрунтово-геохімічне опробування проводилось за перпендикулярними дорожніми профілями на відстанях 10, 50, 100 і 200 м. Для визначення процесу транслокації важких металів з ґрунту у рослинні об'єкти у місцях відбору ґрунтових зразків відбирались зразки картоплі, домінуючої культури на індивідуальних сільгосп-угіддях придорожніх селищ Тийглаш і Сюрте.

Під час польових досліджень на визначених площах відбирались середньозмішані проби ґрунтів з верхньої частини гумусного горизонту або орного шару. Розмір елементарних ділянок складав  $10 \times 10$  м. Відбір здійснювався згідно існуючих методик і діючих стандартів [5, 6]. З кожної ділянки відбирались 5 точкових проб по 200 г методом „конверту”. В лабораторних умовах пробу ґрунту очищали, сушили, розтирали в ступці і просіювали через сита різного діаметра, з кінцевим в 1 мм. Одна частина повітряно-сухої проби була надана в лабораторію ґрунтознавства ДП «Закарпатський науково – дослідний та проектний інститут землеустрою» для визначення механічного складу ґрунтів та їх фізико-хімічних властивостей, дані про механічний склад наведено в табл. 1. Що стосується фізико-хімічних та хімічних властивостей, то досліджувані ґрунти слабокислі або нейтральні ( $pH_{\text{сольове}} = 6,2-7,0$ ), малогумусні (1,74-3,85%). Проте вони добре збагачені азотом. Вміст калію залежить від дрібних дисперсних частинок у ґрунті і коливається від дуже низького (№2 і №7) до підвищеного (№3 і №4).

Фосфор також варіює в широких межах: від 1,5 (№7) до 30% (№4 і №6), що є дуже високим значенням.

Друга частина – у відділ інструментально-лабораторного контролю «Державної екологічної інспекції в Закарпатській області» для визначення вмісту валових і рухомих форм ВМ методом атомно-абсорбційної спектроскопії (ААС). Із третьої частини проби під дією пресу 200 кг/см<sup>2</sup> нами були

виготовлені зразки (10×10×3мм) для дослідження методом ІФС. Аналогічно готувалися мішені із золи картоплі. Проби коренеплодів відбирались у трьох точках по 1 кг кожна. Об'єднану пробу сортували за величиною на три групи: великі, середні, дрібні. З кожної групи бралася 25% до об'єднаної проби, яка подрібнювалася, сушилася, мінералізувалися методом сухого озолення згідно [7].

Таблиця 1

### Механічний склад ґрунтів з ділянок вздовж автодороги Ужгород-Чоп

№	Розташування	Різновид ґрунту	Розміри часток в мм, кількість в %						
			пісок		пил			мул	Су ма часток
			>0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Околиця м.Чоп (розвилка на місто і КПП "Тиса")	піщанисто-важкосуглинкові	4.2 2	15. 88	31. 32	7.0 8	15.5 2	25. 98	48. 58
2	Околиця "Польського лісу"	крупнопилювато-середньосуглинкові	1.4 3	18. 09	47. 42	4.8 6	10.7 0	17. 50	33. 06
3	с.Тийглаш	супіщані	39. 48	3.5 2	40. 40	2.6 0	4.90	9.1 0	16. 60
4	с.Сюрте (школа)	піщанисто-легкосуглинкові	11. 63	18. 19	40. 38	7.7 2	11.1 0	10. 98	29. 80
5	Територія агрофірми "Еліта" (2,5 км до с.Холмок)	пилювато-легкоглинисті	4.8 8	14. 02	26. 80	10. 00	20.3 0	24. 00	54. 30
6	с.Розівка	піщанисто-середньосуглинкові	3.9 0	16. 50	47. 42	10. 30	10.6 0	11. 28	32. 18
7	с.Розівка (з-д "Джейбіл")	піщанисто-середньосуглинкові	2.0 7	29. 59	30. 76	12. 98	10.3 0	14. 30	37. 58
8	Околиця м.Ужгород - початок с.Минай (територія Духовної семінарії)	піщанисто-середньосуглинкові	8.4 8	17. 36	44. 06	7.5 0	8.74	13. 86	30. 10

### Результати та їх аналіз

Різні типи ґрунтів, в залежності від ґрунтоутворних порід, генетичних й провінційних особливостей ґрунтового покриву, а також від величини антропогенного тиску, мають різний вміст хімічних

елементів. Якісний аналіз ґрунтів, притаманних ландшафтам низинного Закарпаття виконаний методом ІФС показав, що вони мають складний хімічний склад. Як приклад, на рис. 1 приведено спектр ІФЕ зразка ґрунту для ділянки №5. Спектри інших зразків за спектральним

складом подібні. Відмінності виявлені лише в інтенсивності спектральних ліній. В спектрах досліджуваних зразків ідентифіковано лінії розпорошених атомів й іонів частинок ґрунту та лінії відбитих від поверхні частинок іонного пучка. Молекулярних смуг та неперервного випромінювання не виявлено. Найбільш інтенсивними є резонансні спектральні лінії розпорошених атомів алюмінію, міді, заліза, кремнію, магнію і відбитих атомів калію, що є закономірним і передбаченим. Згідно даних [8, 9], третина твердої фази ґрунту припадає на кремній, більше 10 % - на алюміній та залізо. Також можна вказати на значний вихід атомарного магнію (Mg I 382,9; 383,2; 517,2; 518,4 нм), який в ґрунті присутній у складі залізо-магnezійних смол в кількості 0,6 %. Велика кількість натрію (Na I 589,6; 590,0 нм) обумовлена як його присутністю у ґрунті

(0,6%), так і в іонному пучку. Зі спектрів та табл. 2 видно, що меншу інтенсивність мають спектральні лінії інших елементів, особливо різних антропогенно розсіяних мікродомішок, які містяться у ґрунті. Нам вдалося виявити значну кількість різних хімічних елементів, лінії багатьох з яких реєструються в короткохвильовій ділянці спектра.

Найбільш поширеним в ґрунтах є первинний силікатний мінерал кварц (SiO<sub>2</sub>), його вміст у всіх ґрунтах перевищує 60 %, а в легких піщаних й 90 % [10]. Він характеризується великою механічною міцністю і стійкістю до хімічного вивітрювання, інертністю до хімічних реакцій в ґрунті. Через це для порівняння інтенсивностей спектральних ліній в табл. 2 нормовані на величину інтенсивності лінії Si I 288,2 нм.

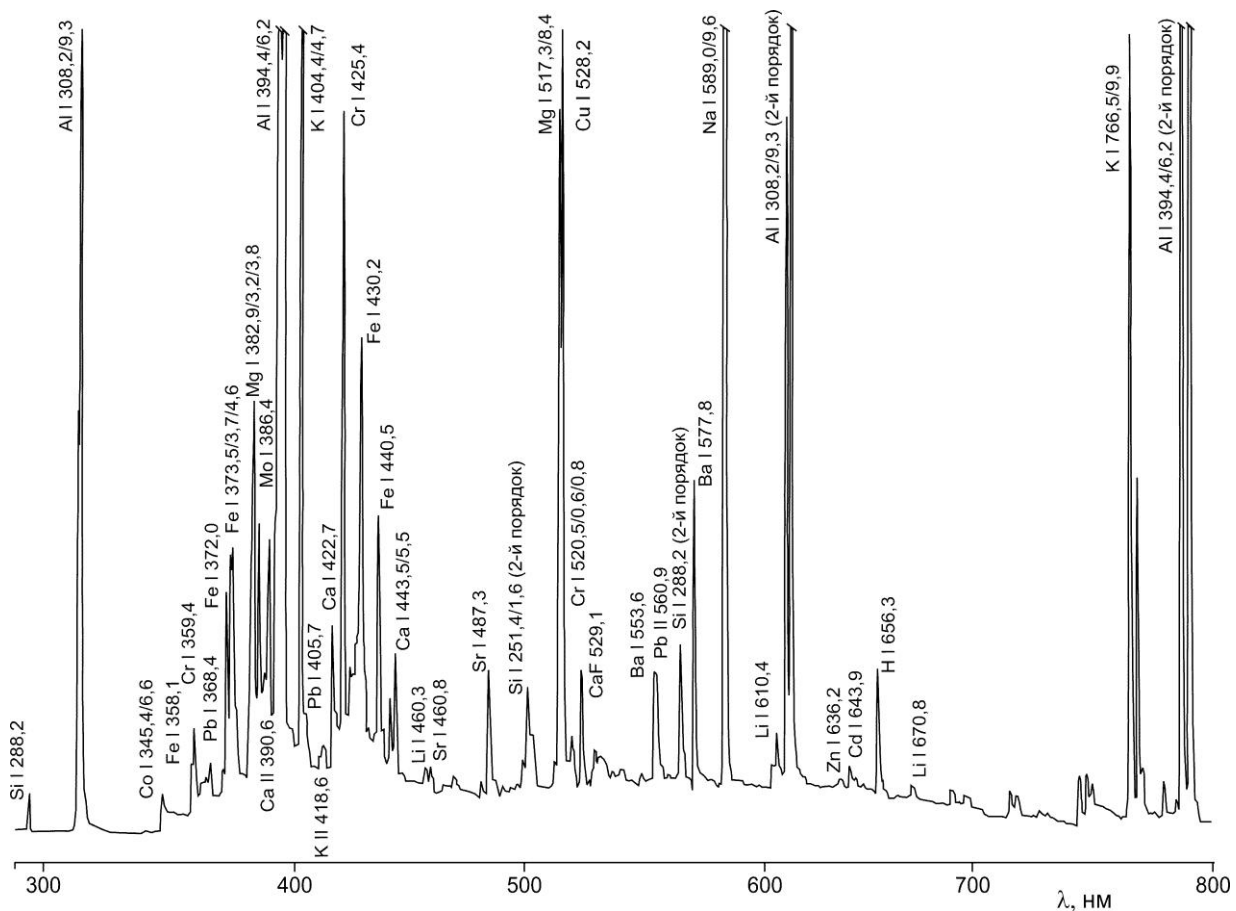


Рис. 1. Спектр ІФЕ ґрунту, відібраного на ділянці №5.

Окрім зазначених вище хімічних елементів в спектрах ІФЕ ґрунтів досліджуваних територій виявлені наступ-

ні елементи: Pb, Zn, Sn, V, Ni, Cr, Sr, Mo, Cd, Li, Bi, Ti, Te, Ca, Ba, Rn. Більшість з них є важкими металами. Серед них

особливо небезпечними за [11], є Cd, Pb, Zn. Залежно від концентрації в ґрунті або в рослинах до небезпечних забруднюючих речовин можна віднести й Cu, Co, Ni, Mo, Cr, Sb, V тощо. В спектрах досліджуваних ґрунтів виявлені також й радіоактивні елементи Sr(Sr I 483,2 нм) та Rn(Rn I 745,0 нм). Їх концентрація не перевищує фонові значення, що в принципі є характерним для ґрунтів Закарпатської області [3, 12].

Для встановлення зв'язку між механічним складом ґрунту і вмістом хімічних елементів проаналізовано інтенсивності спектральних ліній Si, Al, Mg, Fe та Ca на різних ділянках. Виявлено, що різні за механічним складом ґрунти відрізняються за концентрацією в них цих хімічних елементів. Більш крупні частини – піщані і пилуваті – складаються в більшій мірі з кварцу, тому характеризуються підвищеним вмістом Si і меншим

Al, Mg, Fe, Ca та інших елементів. В склад колоїдної і мулистої фракції входять переважно первинні і вторинні алюмо-кислотні мінерали і тому в них більше Al, Fe, Ca, K тощо. Наприклад, ґрунти ділянок №3 і 5 суттєво відрізняються за механічним складом, що демонструється даними таблиці 1. Ґрунт, відібраний з ділянки №3, характеризується більш крупними частинками (пісок >0,2 складає 39,48%), малим вмістом мулу (9,1 %) та фізичної глини (16,6 %). Проба ґрунту з ділянки №5 містить піску 4,88 %, мулу 24%, фізичної глини 54,3 %. Зазначені відміни проявляються в спектрах ІФЕ. Зокрема, інтенсивність спектральної лінії Si I 288,2 в спектрі ІФЕ ґрунту з ділянки №3 більша в 1,5, а ліній Al I 394,4/6,2, Mg I 517,2, Fe I 373,5 менше відповідно у 1,14; 2,0; 1,3 разів.

Таблиця 2

**Основні спектральні лінії, що спостерігаються в спектрах ІФЕ ґрунтів  
(на прикладі зразка ґрунту ділянки №5)**

Лінія, нм	Інтенс., відн. од.	Лінія, нм	Інтенс., відн. од.	Лінія, нм	Інтенс., відн. од.
Mg I 285.2	0.048	Pb I 368.4	0.2	Mg I 517.2	1
Sn I 286.3	0.075	Fe I 372	1.6	Mg I 518.4	6.5
Si I 288.2	1	Fe I 373.5/7	2.25	Cu I 521.8	8.4
Bi I 306.7	0.06	Mg I 382.9/383.2/	3	CaF 529.1	1.5
Al I 308.2	6.1	Mo I 386.4	1.75	Tl I 535.1	0,5
Al I 309.3	14.5	Ca II 393.37	2	Pb II 560.9	1.25
V I 318.5	0.22	Al I 394.4/6.	110	Ba I 577.8	3.5
Cu I 324.8	0.07	K I 404.4/7	12.6	Na I 589.6/59	75
Zn I 330.3; N 330.2	0.21	K II 418.6	0.1	Li I 610.4	1
Zn I 334.5	0.05	Ca I 422.7	1	Zn I 636.2	0.75
Co I 345.5/4	0.13	Cr I 425.4	7	Cd I 643.9	0.5
Ni I 308.2	0.1	Fe I 430.2/432	3.6	Li I 670.8	0.35
Ni I 349.8	0.05	Ca I 443.5	1.35	Rn I 745	1.1
Fe I 358.1	0.57	Li I 460.3	0.25	K I 766.5	19
Cr I 359.4	0.9	Sr I 483.2	0.8	K I 769.9	6.5
Ti I 365.3	0.1	Ti I 498.2	0.25		

За результатами досліджень методом ІФС валового вмісту металів в ґрунтах відмітимо, що запропонований метод дає змогу реєструвати слабкі потоки квантів, джерелом яких є атоми та іони елементів, відсоток яких в ґрунті незначний: так частка Cd складає  $5 \cdot 10^{-5} \%$  або 0,5 мг/кг, Co -  $8 \cdot 10^{-4} \%$  або 8 мг/кг, Sn і Pb –  $10^{-3} \%$  або 10 мг/кг тощо. Інтенсивність спектральних ліній цих та інших ВМ незначна (табл. 2). Наприклад, вихід фотонів для лінії PbI 368,4 нм на 3 порядки менший, ніж для лінії AlI 396,2 нм. За даними [10], середній вміст Al у незабрудненому ґрунті в 7000 разів вищий за вміст Pb. Враховуючи залежність коефіцієнтів розпорошення від концентрації елементів в багатокомпонентній системі [13], якою є ґрунт, можна зробити висновок про надлишкову концентрацію Pb в досліджених ґрунтах, а відповідно про антропогенне його походження.

Зауважимо, що на ділянках, які мають низьку буферну здатність і піддаються значному антропогенному навантаженню спостерігалися рідкісні елементи Re (ReI 346,0 нм) і Rh (RhI 343,4 нм). Дуже імовірно, що їх надходження в ґрунти пов'язане з діяльністю автотранспорту. Ці метали входять в якості каталізатора при виробництві високооктанових сортів

бензину та використовується для каталізаторів в автомобільних конвертерах. Їх технофільність в останні роки збільшилась [14]: Re в 50, Rh в 20 разів.

Для визначення просторового розподілу викидів автотранспорту у межах приміагістральних смуг було досліджено вміст металів від експозиції до полотна дороги. Виключався вплив рельєфу, механічного складу проб. Вміст гумусу у ґрунті, відібраному на відстані 10 м від дороги складав 2,85 %. На інших ділянках кількість органічної речовини була більшою і варіювалась в невеликих межах: 3,6-3,7 %. Кислотність досліджуваних зразків однакова ( $pH_{\text{сольов}}=6,8-6,9$ ). Результати досліджень показали, що відносна інтенсивність спектральних ліній багатьох елементів (яка є пропорційною їх вмісту в ґрунті) залежить від місця відбору проби відносно автодороги.

В таблиці 3 приведено відносні інтенсивності спектральних ліній забруднюючих хімічних елементів залежно від експозиції до полотна автодороги Ужгород-Чоп. Отримані результати віддзеркалюють характер просторового розподілу викидів від автотранспорту і дорожнього покриття у межах приміагістральних смуг.

Таблиця 3

**Залежність вмісту хімічних елементів в ґрунті від відстані до дороги**

Хімічні ел./ довжина хвилі	Відстань від дороги, м			
	10	50	100	200
Sn I 286,3	3	3,1	2,1	1,0
Si I 288,2	1,0	1,1	1,8	1,2
V I 318,5	4,1	3,8	2,3	1,0
Cu I 521,8	3,6	3,2	1,9	1,0
Co I 345,5	2,8	1,3	1,2	2,0
Ni 341,5	4,0	2,2	1,3	1,0
Pb I 368,4	6,2	3,8	1,6	1,0
Fe I 372,0	5,2	4,3	4,1	1,0
Mg I 382,9	4,2	2,8	1,3	1,0
Mo I 386,4	5,5	3,8	1,2	1,0
Cr I 425,4	3,0	1,6	1,6	1,0
Li I 460,3	20,2	6,8	3,1	1,0
Ti I 498,2	1,6	1,2	1,0	1,0
Tl I 535,0	3,3	1,0	2,2	2,0
Zn I 636,2	2,2	1,6	1,0	1,1
Cd I 643,9	2,8	2,0	1,0	1,2

З таблиці видно, що акумуляція забруднювачів в придорожній смугі визначається віддаленістю від джерел забруднення. Виняток маємо для кремнію, який є основною складовою ґрунту і не привноситься в придорожній простір від діяльності автомагістралі. Це підтверджує коректність вимірювань і правильність зробленого нами висновку щодо техногенного походження більшості металів і металоїдів в компонентах придорожного ландшафту. Всі виявлені в зразках ґрунту елементи, окрім кремнію, акумулюються безпосередньо поблизу автодороги (10-50 м). Інтенсивність спектральних ліній зменшується з відстанню від дороги. Відношення інтенсивностей, а відповідно і вмісту елементів у ґрунті, коливається в межах 2-6 (виключенням є легкий елемент Li). Серед небезпечних забруднювачів особливої уваги заслуговує свинець. Кількість його в придорожному ґрунті у 6,2 рази вища, ніж на відстані 200 м. Основна маса викидів ВМ (~75%) осідає у ґрунті вздовж автодороги на відстані 0-50 м від полотна. На відстані 50-100 м від полотна дороги розсіюється ~20%. Кількість свинцю, який серед ВМ є пріоритетним забруднювачем із викидів автотранспорту, має найбільший діапазон коливань. Значна кількість його з вихлопними газами осідає біля дороги і легко адсорбується глинами.

Отримані дані свідчать про аеротехногенний шлях розповсюдження ВМ на агроландшафти, що межують з автодорогами з інтенсивним рухом автотранспорту. На прикладі картоплі, відібраної в безпосередній близькості до

ділянок 3 та 4, показано, що в низинних районах Закарпаття існує небезпека застосовувати для ведення с/г діяльності землі, які безпосередньо прилягають до завантажених автодоріг. Ґрунти дослідних ділянок мають нейтральну реакцію ґрунтового розчину (рН сольове 6,8 та 7,0), проте гідролітична кислотність ґрунту №4 (с. Сюрте) в 2 рази менше, ніж ґрунту №3 (с. Тийглаш), що свідчить про меншу насиченість основами останніх. Вміст гумусу на присадибних ділянках 5,2 % (с. Тийглаш) і 4,1% (с. Сюрте), тобто ці ґрунти є середньогумусними, що в деякій мірі обмежує їх можливості до інактивації техногенних ВМ. Відміна у вмісті гумусу пов'язана з різною кількістю вносимих у ґрунт добрив. В спектрах ІФЕ картоплі виявлено ті ж самі елементи, що й акумулюються в ґрунтах. Спостерігається значне поглинання картоплею магнію та азоту. Інтенсивність ліній Mg I 382,9 та Fe I 430,2; 432,6 нм в порівнянні з ґрунтом збільшується понад у 2 рази. Проте інтенсивність спектральних ліній Al зменшується. В спектрі ІФЕ картоплі з'являється лінія Ni 411,0 нм, яка не спостерігалась у спектрі ґрунту.

Для визначення здатності картоплі накопичувати поллютанти для шести небезпечних елементів ми визначили коефіцієнт біологічного поглинання (КБП) з порівняння інтенсивностей спектральних ліній в спектрах ІФЕ ґрунтів і рослинній продукції (табл. 4). В даному випадку КБП характеризує інтенсивність надходження ВМ з ґрунту, тобто за [15], внутрішнє забруднення.

Таблиця 4

**КБП картоплі з присадибних ділянок**

Нас. пункт \ Елем	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
с. Тийглаш	0,41	0,71	1,10	0,14	0,15	0,52
с. Сюрте	0,45	0,60	1,25	0,10	0,31	0,18

В залежності від елемента КБП варіюється від 0,18 до 1,25. Найбільш накопичувальним поллютантом є мідь (КБП перевищує 1), а елементами слабого

захвату виявилися Ni, Zn. Для кадмію, який в цілому легко пересувається в ґрунтах, також виявлене слабе поглинання картоплею. Це може бути пов'язано

насамперед з нейтральністю ґрунтів [16]. В ландшафтно-географічному аспекті найбільший коефіцієнт акумуляції характерний для системи ґрунт - рослина на присадибній ділянці с. Сюрте (середнє значення 0,51 проти 0,47 для с. Тийглаш). Низькі значення КБП картоплі свідчать про те, що значна частка хімічних елементів фіксується ґрунтом. Також можливе підвищення бар'єрності у городніх рослин через підвищення антропогенного тиску [17]. На це також вказує порівняння значень КБП, отриманих нами, з експериментальними даними в інших регіонах і країнах [15, 16, 18-20] при різних рівнях антропогенного забруднення. Відміни в значеннях КБП для бульб картоплі, відібраних на різних присадибних ділянках, пов'язані з кислотно-основними умовами, окисно-відновлювальним оточенням, механічним складом ґрунтового середовища, аерацією тощо. Супіщаний ґрунт с. Тийглаш, порівняно з піщанисто-легкосуглинковим ґрунтом с. Сюрте, краще пропускає вологу і для нього більший відсоток поверхневого стоку інфільтрується в ґрунтовий профіль і відповідно є більшим КБП для таких

елементів як Cd, Cu, Pb. Транслокація Zn і Co визначається значенням рН сольове. Значний впливає на доступність металів рослинам кількість у ґрунті фосфору, який є антагоністом цинку та міді і знижує потрапляння їх в рослини [17]. Так відношення абсолютних значень рухомих форм Cu для ґрунтів ділянок с.Сюрте та с.Тийглаш складає 1,28, а КБП – 1,1; для Zn – 1,2 і 0,82 відповідно. Тобто підвищений вміст P в ґрунті с.Сюрте дещо нівелює вплив більшої кількості рухомих форм ВМ в акумуляції їх картоплею.

Отримані результати свідчать про надзвичайно складний процес переходу хімічних елементів з ґрунту в рослину. Із 6 проаналізованих металів для трьох: Cd, Cu, Pb - КБП більший у випадку більшої кількості хімічного елементу в ґрунті, а для Co, Ni, Zn – виявлена протилежна залежність.

За визначеними значеннями КБП картоплі, які отримано із застосуванням методу ІФС, і вмістом рухомих форм ВМ у ґрунтах, які визначено методом ААС, оцінено вміст політантів у рослинній продукції. Отримані дані наведено в табл. 5.

Таблиця 5

**Вміст важких металів у картоплі, мг/кг**

Хім. елемент	Населений пункт		ГДК [20]
	с. Тийглаш	с. Сюрте	
Cd	0,04	0,09	0,03
Co	2,4	3,1	1
Cu	12,1	17,6	5
Ni	1,39	1,65	1,5
Pb	2,9	4,4	0,5
Zn	6,8	7,5	10

З таблиці видно, що більшому забрудненню піддається картопля, яка вирощується на городі с. Сюрте. Приоритетними чинниками, які найбільш суттєво впливають на накопичення ВМ картоплею є величина органічної речовини, гідрологічний режим та антропогенна діяльність. По-перше, більші значення гумусу та добрив (за значенням рухомого P) в ґрунтах присадибної ділянки с. Тийглаш створюють бар'єр для трансло-

кації ВМ в рослинну продукцію. По-друге, різний воднопрямий режим сприяє більш інтенсивному вимиванню ВМ вниз по ґрунтовому профілю ділянки №3. І, нарешті, ділянка №4 і, відповідно й рослинна продукція на ній, через більш низьке розташування відносно дороги і через відсутність поряд з нею чагарникових насаджень та дерев, які притаманні ділянці №3, піддається інтенсивнішому техногенному тиску з боку автотранс-



порту. Проте перевищення ГДК низкою металів є характерним для картоплі з обох досліджуваних ділянок. Так, виявлено перевищення концентрацій Cd на ділянці с. Тийглаш у 1,33 рази, с. Сюрте у 3 рази; Co – 2,4 і 3,1; Cu – 2,4 і 3,5; Pb – 5,8 і 8,8. Найбільш критичним є рівень свинцю у картоплі, що свідчить про його значне надходження в систему ґрунт-рослина з вихлопів автотранспорту. Не виявлене перевищення ГДК Zn та Ni.

### Висновки

В роботі показано придатність застосування для еколого-природничих обстежень високочутливої методики за допомогою іонних пучків. Методом ІФС отримана інформація про ступінь хімічно-

го забруднення придорожніх ґрунтів і рослинницької продукції вздовж автодороги Ужгород-Чоп. Виявлено понад 25 хімічних елементів, у тому числі особливо небезпечних антропогенно розсіяних ВМ. Перевага методу ІФС полягає у можливості експресного одночасного визначення великої кількості елементів у широкому діапазоні концентрацій, досліджувати динаміку зміни їх валового вмісту від антропогенного навантаження та властивостей ґрунту. Отримані результати сприяють виробленню рекомендацій щодо мінімізації негативного впливу забруднення ґрунтів вздовж автошляхів на природні ресурси і людину, а метод може бути використаний, як допоміжний в системі постійного екологічного моніторингу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2006р.-К.: Мінприроди України, 2008. - 276 с.
2. Шестак О.І. Транспорт і сталый розвиток Закарпаття: Збірник статей. – 2002. – С. 215-219.
3. Екологічний паспорт Закарпатської області. -2010. – 96 с.
4. Поп С.С., Белых С.Ф., Дробнич В.Г., Ферлегер В.Х. Ионно-фотонная миссия металлов.—Ташкент: ФАН, 1989. — 200 с.
5. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. — М.: Гидрометеиздат. 1983. — 128 с.
6. ДСТУ 4287-2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. — К. Держспоживконтроль України. 2005. — 5 с.
7. ГОСТ 26929-86. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов.
8. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 210 с.
9. Приходько Н.Н. Важнейшие микроэлементы в почвах Закарпатской низины и Закарпатского предгорья // Автореферат дисс. канд. с.-х. наук. - Харьков. -1973. -23 с.
10. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.:Наука.-1985.-263 с.
11. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. — М. Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. - 4 с.
12. Симканич О.І., Сухарев С.М., Маслюк В.Т., Стець М.В. Низькофоновий гамма-спектрометричний моніторинг ґрунтів національного природного парку „Зачарований край” // Вісн. УжНУ. Сер.хім., 2009. Вип.21. –С. 72-76.
13. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Вып. 2. Под ред. Р.Бериша. — М.: Мир, 1986. -488 с.
14. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. - 2008. - 164 с.
15. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука. -1991. – 151 с.
16. Горбатов В.С., Обухов А.И. Динамика трансформации малорастворимых соединений цинка, свинца и кадмия в

- почвах // Почвоведение. - 1989, №6. – С. 129-133.
17. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво. К.: Аграрна освіта. -2001. -591 с.
18. Волошин І.В., Матвійчук Л.Ю. Особливості акумуляції поліютантів у приавтомагістральних комплексах Волинської області // Географія в інформаційному суспільстві: Зб. наук. праць. У 4-х т. – К.: ВЛГ Обрії. -2008.– Т.ІІІ.–С. 205-207.
19. Некос А. Н., Дудурич В. М. Экология и проблемы безопасности товаров народного потребления: Учебное пособие. Изд. 2-е, перер. и допол / Под общ. ред. В.Е. Некоса. - Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2007. - 380 с.
20. Кисель В.И. Загрязнение почв тяжелыми металлами // Агроэкологическая оценка земель Украины и размещение сельскохозяйственных культур / Под ред. В.В. Медведева. – К.: Аграрная наука. -1997. – С. 114-125.

Стаття надійшла до редакції 29.05.2011

I.E. Mitropolskiy, V.S. Buksar, M.I. Lintur, S.S. Pop  
Problem Laboratory of Physical Electronics, Uzhgorod National University  
Voloshin, 54, Uzhhorod, 88000, Ukraine  
e-mail: mitropolija@mail.ru

## APPLICATION OF ION-PHOTON SPECTROSCOPY IN ENVIRONMENTAL STUDIES

Approved information capabilities of ion-photon spectroscopy method for assessment of environmental pollution of landscape wayside highway Uzhgorod-Chop. The presence of pollutants in the soil, whose source is motor transport, is found. The dependences of the accumulation of heavy metals in soils and plants on soil properties and the distance from the source of contamination.

**Key words:** ion-photon spectroscopy, soil pollution, highway, heavy metals, translocation coefficient of biological absorption.

И.Е. Митропольский, В.С. Буксар, М.И. Линтур, С.С. Поп  
Ужгородский национальный университет, 88000, г. Ужгород, ул. Волошина, 45

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИОННО-ФОТОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Апробирована информационная возможность метода ионно-фотонной спектроскопии для оценки состояния экологического загрязнения компонентов ландшафтов придорожной полосы автодороги Ужгород-Чоп. Выявлено наличие в почве и растениеводческой продукции полиютантов, источниками которых является автотранспорт. Установлены зависимости аккумуляции тяжелых металлов в почвах и растениях от свойств грунта и удаленности от источника загрязнения.

**Ключевые слова:** ионно-фотонная спектроскопия, загрязнение почвы, автодорога, тяжелые металлы, транслокация, коэффициент биологического поглощения.