

УДК 546.711:731.438:573.4

Н.В. Довганич, І.В. Мазепа, У.О. Мазепа-Крижанівська

### Розподіл мангану в системі ґрунт – вода – рослина в зоні впливу Бурштинської теплової електростанції

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76025, Україна*

У роботі досліджено сезонний вплив функціонування Бурштинської ТЕС (БуТЕС) на вміст мангану в ґрунтах, воді та тканинах чистотілу (*Chelidonium Majus L.*). У структурі хемічного забруднення території активного впливу БуТЕС суттєве значення має дослідження вмісту і форми марганцю в системі ґрунт – вода – рослина, яка уявляє собою найбільш активну частину колообігу речовин у Природі. Показано, що зміни вмісту і форми марганцю в ґрунті, воді і рослині взаємозв'язані, мають сезонну, територіальну та органну (в організмі чистотілу) залежність.

**Ключові слова:** манган, ґрунт, вода, чистотіл звичайний *Chelidonium Majus L.*, валовий та рухомий вміст марганцю, Бурштинська теплоелектростанція (БуТЕС).

N.V. Dovhanych, I.V. Mazepa, U.O. Mazepa-Kryzhanivska

### Distribution of Manganese in the Soil-Water-Plant in the Zone of Burshtyn Thermal Power Station

*Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University,  
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine*

This article deals with the influence of Burshtyn thermal power station on the amount of manganese in soil, water, and celandine tissue. The research of manganese amount and form in the system: water – soil – plant is of great importance due to active influence of thermal power station on the chemical structure of the polluted area. The changes in the amount and form of manganese in soil, water and plant are interrelated and depend on the season, the distance from the polluter and morph-functional plant structure, the cleaning system possibilities of the industrial enterprise and some meteorological factors.

**Key words:** manganese, soil, water, celandine, gross and changeable manganese amount, Burshtyn thermal power station.

*Стаття поступила до редакції 29.11.2011; прийнята до друку 25.01.2012.*

#### Вступ

В умовах техногенного навантаження об'єктів біосфери (гідро-, літо-, атмосфери і біоти) проблема кількісної оцінки інтенсивності забруднення займає виключне значення. Розв'язання цієї проблеми дозволить дати об'єктивну оцінку якості промислового та сільськогосподарського виробництва, організації профілактично-оздоровчих технологій, розвитку матеріально-технічної бази в Україні [1-3]. Для нашої держави техногенне забруднення важкими металами-токсиканта-

ми, мутагенами та канцерогенами, привело до екологічної кризи (Національна доповідь України, Бразилія, 1992), яка стала однією з причин зменшення чисельності Української Нації.

Ліквідація причин та наслідків екологічної кризи на Україні сьогодні – це життєво визначальне завдання, від вирішення якого залежить майбутнє Української Нації. У залежності від структурно-функціональних особливостей об'єктів біосфери, інтенсивність їх забруднення має широкий діапазон, що в окремих випадках перевищує гранично допустимі концентрації в

сотні разів [4]. В умовах екологічної кризи проблеми забруднення біосфери набрали небувалого значення. Завдяки техногенному забрудненню різко зросли хвороби імунної системи, злякисні захворювання, порушення репродуктивних процесів, частота соматичних захворювань тощо [5, 6].

Кризові явища, незалежно від масштабів, це складні суспільно-економічні проблеми, які за структурно-організаційною специфікою не мають аналогів.

Екологічна криза – це завжди результат некомпетентного суспільно-економічного управління, тому без участі цієї складової зусилля спеціалістів у боротьбі з кризовими явищами безперспективні. Складність екологічних криз зумовлена тим, що виникнення, розвиток та наслідки їх визначаються не лише порушеннями в системі біоти чи абіоти, але й внутрішньою організацією кожної з них, взаємовідносинами між ними, які формуються у відповідності до будови, властивостей та вихідних функцій кожної компоненти екосистеми локальної чи глобальної [7, 8].

Манган як перехідний метал відноситься до елементів VIII підгрупи і є одним з тих, які мають життєво важливі функції для біологічних систем. Як перехідні метали манган проявляє перемінну валентність, але на відміну від інших первнів підгрупи VIII манган досить розповсюджений первень у Природі, концентрація якого досягає в ґрунтах величини 2-9 грам на кілограм маси [9, 10]. У поверхневих шарах літосфери поведінка мангану дуже складна і залежить від низки факторів, з яких найважливішими є значення рН. Серед хемічних сполук найчастіше утворюються оксиди та гідроксиди марганцю. Умови, що сприяють окисненню мангану, різко знижують доступність даного металу для рослин і, навпаки, відновлювальні умови сприяють засвоєнню мангану рослинами. Розчинність марганцю під час відновлення металу в сполуках сприяє кращому всмоктуванню кореневою системою рослини [11, 12].

На процеси окиснення-відновлення мангану важливу роль відіграє мікробіологічна активність ґрунтів. Важливо зауважити, що манган не є первнем, що забруднює літосферу. У той же час вживання в якості добрива осадку стічних вод може збільшувати вміст його сполук у ґрунтах [13].

Поглинання сполук марганцю рослинами відбувається за рахунок метаболічних процесів, а при високих та токсичних концентраціях металу в розчині – пасивною абсорбцією. В рослинах марганець переноситься у вигляді  $Mn^{2+}$ , однак при значних запасах в рослині його рухомість обмежена [14].

Біохемічні функції марганцю сконцентровані головним чином в окисдно-відновних процесах. Крім цього,  $Mn^{2+}$  – специфічний компонент аргінази та фосфотрансферази. Марганець приймає участь в процесах асиміляції азоту рослинами. Хлоропласти дуже чутливі до дефіциту марганцю.

Дефіцит марганцю – звичайне явище для деяких сільськогосподарських культур, що ростуть на нейтральних та карбонатних ґрунтах, хоча токсичний вплив марганцю може проявитися на кислих ґрунтах (рН 5,5) [15].

Із врахуванням вище наведеного можна стверджувати, що системне вивчення вмісту і форми знаходження марганцю в біосфері за умов впливу екологічного забруднювача не проведено. Відсутні також дані стосовно сезонної специфіки розподілу сполук марганцю в системі ґрунт-водорослина і взаємозв'язку цих параметрів з основними фізико-хімічними характеристиками компонента біосфери – рН, величини окисдно-відновного потенціалу (ОВП) та аніонного складу.

Робота проведена в північно-східному регіоні Івано-Франківської області, де розміщена Бурштинська теплоелектростанція (БуТЕС). Серед промислових об'єктів України БуТЕС входить в список 100 найбільших екологічних забруднювачів України. Для Івано-Франківської області БуТЕС представляє собою найбільший забруднювач довкілля та атмосфери. Викиди цієї електростанції становлять більше 85% від загальної кількості викидів стаціонарних джерел всього Прикарпаття.

## I. Експериментальна частина

**Об'єкт дослідження:** екосистема ґрунт-водорослина за умов впливу екологічного забруднювача БуТЕС.

**Предмет дослідження:** вміст і форма знаходження марганцю в біосфері.

**Дослідні зразки.** У даній роботі представлені результати розподілу валової та обмінної (рухомої) форми марганцю у ґрунтах, воді та чистотілі (*Chelidonium Majus L.*) території, що знаходиться в зоні розташування Бурштинської теплоелектростанції (БуТЕС) та активного впливу теплоелектростанції на віддалі 8 та 16 км. Зразки ґрунту, води та рослин (*Chelidonium Majus L.*) забирали згідно вимог Держстандарту України та рекомендацій інших авторів і джерел інформації [16-18].

**Методи дослідження.** Кількісна аналіза валового та розчинного марганцю проведена методом атомної абсорбційної спектроскопії з індуктивно зв'язаною аргонною плазмою на Плазмакванті-110. Мінералізацію досліджуваного матеріалу здійснювали загальноприйнятим методом «мокрого» оголення. Доаналітична підготовка біологічного матеріалу закінчувалася одержанням прозорих гомогенних розчинів.

## II. Результати та обговорення

Результати кількісного визначення валової та розчинної фракції марганцю в системі ґрунт – вода – рослина у різні сезони року представлені в табл. 1-5.

Аналіза результатів валового вмісту марганцю в ґрунтах розміщення Бурштинської теплоелектростанції в різні сезони (табл. 1) дає підстави констатувати, що на контрольній території валовий вміст марганцю є нижчим, ніж такий, який виявлений на територіях активного впливу теплоелектростанції. Разом з тим, необхідно відзначити, що даний показник має сезонну залежність, оскільки абсолютні величини його максимальні у весняний сезон року і достовірно нижчі в інші періоди року з мінімальним вмістом в осінній період. Розподіл валового вмісту марганцю в ґрунтах на території розташування БуТЕС та на територіях віддалених від теплоелектростанції на 8 та 16 км проявляється максимальним вмістом на території розташування ТЕС з чітко вираженою тенденцією до зниження, по мірі віддалення від екологічного забруднювача. У порівнянні з аналогічними показниками контрольних територій вміст валового марганцю на території впливу БуТЕС є достовірно вищим.

Рухомий вміст марганцю в ґрунтах контрольної території максимально високий у літній період, тоді як навесні і восени цей показник достовірно нижчий (табл. 2).

Аналізуючи залежність вмісту рухомого

марганцю в ґрунтах від сезону року і відстані від розташування БуТЕС, встановлено, що у весняний період на території ТЕС обмінний вміст марганцю достовірно вищий вмісту металу на контрольній території і достовірно вищим є на відстані 8 км. На віддалі 16 км від розташування БуТЕС абсолютне значення цього показника не перевищує контрольних величин. Аналогічна залежність вмісту рухомого марганцю встановлена в осінній сезон року. В осінній період рівень рухомого марганцю достовірно вищий на території БуТЕС і зоні активного впливу теплоелектростанції.

Валовий вміст марганцю у воді у порівнянні з величинами вмісту металу в ґрунтах контрольних територій на порядок нижчі (табл. 3).

Аналіза результатів (табл. 3) показала, що вміст валового марганцю у воді контрольних територій нижчий за аналогічні показники усіх інших територій і має сезонну залежність лише в літній період.

На території БуТЕС рівень валового марганцю у воді майже втричі вищий показників цього металу контрольних величин. По мірі віддалення від ТЕС цей показник знижується майже до контрольних величин.

Таблиця 1  
Сезонний вміст (мг/кг) валового марганцю у ґрунтах зони впливу Бурштинської теплоелектростанції (кількість проб n=8)

Сезон	Статистичні показники	Контроль	Бурштинська ТЕС	8 км	16 км
Весна	М	565,62	953,25	846,51	648,92
	±m	12,20	17,65	15,02	9,73
	p		<0,001	<0,001	<0,001
Літо	М	515,47	840,8	717,66	558,5
	±m	12,67	18,67	13,26	13,14
	p		<0,001	<0,001	<0,001
Осінь	М	501,34	874,40	843,72	514,11
	±m	6,97	8,88	10,28	8,11
	p		<0,001	<0,001	<0,001

Таблиця 2  
Сезонний вміст (мг/кг) рухомого марганцю у ґрунтах зони впливу Бурштинської теплоелектростанції (n=8)

Сезон	Статистичні показники	Контроль	Бурштинська ТЕС	8 км	16 км
Весна	М	26,24	50,49	32,84	26,71
	±m	1,95	2,06	1,24	1,25
	p		<0,001	<0,01	>0,5
Літо	М	29,09	42,14	32,74	29,55
	±m	0,10	1,24	1,08	1,14
	p		<0,001	<0,001	<0,001
Осінь	М	24,89	39,99	39,51	28,75
	±m	0,83	1,12	0,98	1,51
	p		<0,001	<0,001	<0,001

Таблиця 3  
Сезонний вміст (мг/кг) валового марганцю у воді зони впливу Бурштинської теплоелектростанції (n=8)

Сезон	Статистичні показники	Контроль	Бурштинська ТЕС	8 км	16 км
Весна	М	66,3	177,9	81,5	69,31
	±m	3,6	5,4	2,9	2,8
	p		<0,001	<0,005	>0,05
Літо	М	76,4	184,3	77,7	82,0
	±m	1,7	3,3	2,7	3,3
	p		<0,001	>0,05	>0,05
Осінь	М	66,0	103,3	78,7	68,8
	±m	2,7	2,9	3,1	2,5
	p		<0,001	<0,05	<0,05

Таблиця 4  
Сезонний вміст (мг/кг) рухомого марганцю у воді зони впливу Бурштинської теплоелектростанції (n=8)

Сезон	Статистичні показники	Контроль	Бурштинська ТЕС	8 км	16 км
Весна	М	4,56	9,79	7,78	6,31
	±m	0,2	0,32	0,16	0,18
	p		<0,001	<0,001	<0,001
Літо	М	7,13	10,87	8,27	6,79
	±m	0,27	0,4	0,29	0,11
	p		<0,001	<0,01	>0,05
Осінь	М	7,42	7,22	7,00	6,05
	±m	0,22	0,17	0,18	0,23
	p		>0,05	>0,05	<0,001

У літній сезон величина вмісту валового марганцю у воді на території БуТЕС зростає аналогічно цьому показнику у весняний період, але влітку і восени абсолютні значення цього показника наближаються до контрольних величин. Аналогічно змінюється вміст валового марганцю в ґрунтах активного впливу теплоелектростанції в осінній період року.

У воді контрольної території та зоні активного впливу Бурштинської ТЕС абсолютні значення вмісту обмінного марганцю складають лише декілька відсотків від величини валового вмісту металу у водному середовищі зони активного впливу теплоелектростанції (табл. 4).

На контрольній території рівень вмісту рухомого марганцю у воді має чітко виражену сезонну залежність, оскільки у літній і в осінній сезони цей параметр для марганцю достовірно підвищується. На території БуТЕС весною і влітку рівень вмісту рухомого марганцю достовірно зростає у порівнянні з контрольними величинами, а восени вміст цього металу не перевищує контрольних величин. На територіях активного впливу теплоелектростанції (8 та 16 км) зміни вмісту рухомого марганцю достовірно вищі контрольних величин, тоді як в інші сезони року зміни вмісту

металу коливаються в межах величин контрольної території.

Результати дослідження вмісту марганцю в органах чистотілу представлені в табл. 5.

Представлені в табл. 5 результати дають підстави констатувати, що вміст марганцю в органах чистотілу, який проростає в зоні техногенного впливу Бурштинської ТЕС, має складну специфіку, яка залежить від сезону дослідження, відстані від розміщення промислового об'єкту та морфологічної будови рослини. Враховуючи абсолютні значення вмісту марганцю та їх різновекторну спрямованість змін в умовах проведеного дослідження (табл. 5), можна зробити висновок, що на розподіл металу в системі ґрунт-вода-рослина впливає певне значення метеорологічних умов, система екологічного захисту теплоелектростанції та взаємовідносини промислових викидів ТЕС з ґрунтом, водним середовищем і рослинними організмами.

Порівняльна аналіза вмісту марганцю на контрольній території і зоні техногенного впливу БуТЕС дає підстави констатувати, що у весняний сезон вміст цього металу в органах чистотілу на контрольній території є достовірно нижчим, ніж на території розташування ТЕС і віддалі 8 та 16 км від ТЕС.

Таблиця 5

Сезонний вміст (мкг/г золи) марганцю в органах чистотілу в зоні техногенного впливу Бурштинської теплоелектростанції (n=6)

Сезон	Орган	Статистичний показник	Контроль	БуТЕС	8 км	16 км
Весна	Листя	M	400,67	628,00	1389,50	5081,33
		±m	9,55	16,44	55,17	
		p	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Стебло	M	32,33	67,50	385,17	742,00
		±m	2,42	6,72	14,03	18,81
		p	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Коренева система	M	690,00	996,50	185,67	724,33
		±m	10,45	43,47	7,90	17,80
		p	-	<0,001	<0,001	<0,001
Літо	Листя	M	398,17	215,00	464,83	3138,20
		±m	13,05	15,04	16,54	64,02
		p	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Стебло	M	137,67	155,67	296,50	1002,67
		±m	9,50	5,89	14,29	23,58
		p	-	>0,5	<0,001	<0,001
	Коренева система	M	413,67	560,33	519,83	956,67
		±m	18,79	14,20	24,69	18,16
		p	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Квіти	M	254,18	382,67	123,83	1305,33
		±m	11,46	9,63	7,31	46,89
		p	-	<0,001	<0,001	<0,001
Осінь	Стебло	M	90,50	284,83		775,67
		±m	8,94	13,92		16,51
		p	-	<0,001		<0,001
	Листя	M	232,33	14,67		1146,33
		±m	19,81	1,76		42,54
		p	-	<0,001		<0,001
	Коренева система	M	311,17	178,50		869,00
		±m	22,36	46,00		13,96
		p	-	<0,001		<0,001

У літній сезон вміст марганцю в листках чистотілу на території БуТЕС достовірно нижчі контрольних показників, але на відстані 8 км і особливо 16 км цей показник достовірно вищий. Влітку вміст марганцю в стеблах, кореневій системі і квітках на територіях ТЕС і зоні активного впливу промислового об'єкта підвищується, за винятком величини вмісту металу в квітках чистотілу, що проростає на відстані 8 км від теплоелектростанції.

Восени вміст марганцю в чистотілі на контрольній території проявляється в послідовному мінорантному ряді: коренева система > листя > стебла. На території розташування БуТЕС ця послідовність має інший характер: стебла > коренева система > листя. На відстані 8 км і 16 км від розміщення БуТЕС розподіл марганцю ще інший, але на відстані 16 км від промислового об'єкта цей показник достовірно вищий в усіх органах досліджуваної рослини.

## Висновки

**1. На території розташування БуТЕС** з потужним енергетичним потенціалом мають місце суттєві антропогенні навантаження, які проявляються в різних сферах функціонування екосистеми і територій зони активного впливу промислового об'єкту.

**2. У структурі хемічного забруднення** території активного впливу Бурштинської тепло-

електростанції суттєве значення має дослідження вмісту і форми марганцю в системі ґрунт – вода – рослина.

**3. Зміни вмісту і форми марганцю** в ґрунті, воді і рослині є взаємозв'язані і залежать від пори року, відстані від екозабруднювача і морфофункціональної структури органів рослини, що досліджується, і можливості очисної системи промислового об'єкта та деяких метеорологічних чинників.

## Література

1. **Єгорова Т.М.** До питання про геохімічний та екологічний фон у геологічних дослідженнях України / Т.М. Єгорова, Л.С. Галецький. – Геол. журн. НАН України. – 2003. – № 3. – С. 78-81.
2. **Філіна Т.В.** Еколого-біологічні особливості забруднених важкими металами урбодіафотопів в межах м. Дніпропетровська: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук: спец. 03.00.16 / Т.В. Філіна // Дніпропетровський національний університет. – Дніпропетровськ. – 2006. – 150 с.
3. **Минеев В.Г.** Тяжелые металлы и экология / В.Г. Минеев, Т.Н. Большева, П.В. Тиво // Агрохимия. – 1998. – №2. – С. 89.
4. **Клименко Т.К.** Особливості розповсюдження важких металів у ґрунтах урбосистем Придніпровського регіону / Т.К. Клименко // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 2004. – Вип. 12, № 1. – С. 72-75.
5. **Колесников С.И.** Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков // Ростов-н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 232 с.
6. **Пинский Д.Л.** Тяжелые металлы в окружающей среде / Д.Л. Пинский, В.Н. Орешкин // Экспериментальная экология. – 1991. – С. 201-213.
7. **Бойченко Е.А.** Соединения металлов в эволюции растений в биосфере / Е.А. Бойченко // Изв. АН СССР. Сер. Биол. – 1976. – № 3. – С. 378-385.
8. **Ильин В.Б.** Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
9. **Швакова Э.В.** Содержание подвижных форм марганца в почвах г. Архангельска / Э.В. Швакова // Сборник научных трудов «Естествознание и гуманизм». – 2006. – Т. 3, вып. 4. – С. 26-31.
10. **Цветкова Н.Н.** Уровень содержания марганца в почвах урбосистем промышленных городов степного Приднепровья / Н.Н. Цветкова, А.А. Дубина // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2008. – Вип. 16, Т. 1. – С. 204-209.
11. **Pikulíková A.** Mn and Zn content in the plant drug from Folium betulae grown in various locations / A. Pikulíková, I. Valásková, S. Lúbkeová // Ceska. Slov. Farm. – 2000. – 49. – 3. – P. 131-3.
12. **Weber G.** / Speciation of Mg, Mn and Zn in extracts of medicinal plants / G. Weber, P. Koniecznyński // Anal Bioanal. Chem. – 2003. – 375. – 8. – P. 1067-73.
13. **Mashi SA.** Cu, Mn, Fe, and Zn levels in soils of Shika area, Nigeria / SA. Mashi, SA. Yaro, AS. Haiba // Biomed. Environ. Sci. – 2004. – 17 – 4. 426-31.
14. **Черникова А.А.** Способность Spirulina platensis к накоплению марганца и его распределение в клетке / А.А. Черникова, Л.Н. Цоглин, А.Г. Маркелова и др. // Физиология растений. – 2006. – Т.53. – №6. – С. 903-909.
15. **Ильин В.Б.** Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам / В.Б. Ильин // Агрохимия. – 1995. – № 10. – С. 109-113. – ГОСТ 26929-94.
16. **Сырье и продукты пищевые.** Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. – Взамен ГОСТ 26929-86; Введ. 01.01.98. – Киев: Гостстандарт Украины, 1997. – 16 с.
17. **Практикум по агрохимии.** Под ред. Минеева В.Г. Изд. Московского университета, 2001. – 688 с.
18. **ГОСТ 2875-82** "Вода питна". ДсанПІН-96. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання.

*Довганич Наталія Василівна* – аспірант кафедри біохемії та біотехнології.

*Мазепа Іван Віцентрович* – доктор медичних наук, професор кафедри біохемії та біотехнології.

*Мазепа-Крижанівська Уляна Олександрівна* – студентка ІV курсу кафедри біохемії та біотехнології.

**Рецензент**

*Сіренко Г.О.* – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри неорганічної та фізичної хемії Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.