

## 7. ЕКОЛОГІЯ ТА ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНА СПРАВА

УДК 630\*114.53

В.П. ВОРОН<sup>1</sup>

### ДИНАМІКА ЗАБРУДНЕННЯ СІРИХ ЛІСОВИХ ҐРУНТІВ У ЗОНІ СЕДИМЕНТАЦІЇ ВИКИДІВ ПИЛУ ПАТ «МИКОЛАЇВЦЕМЕНТ»

*Представлено результати 40-річних досліджень хімізму ґрунтів, що проведено на постійних пробних площах екоряду, який закладено у букових насадженнях на відстані 3-15 км від ПАТ «Миколаївцемент». Інтенсивність підлугування ґрунтів залежить від рівня викидів. Причиною підлугування є аномальне накопичення лужних металів, насамперед кальцію. Насиченість ґрунтів ними досягає 93-98% та близька до межі повної вичерпаності їх буферної ємності. Підлугування має поверхневий характер і його глибина залежить від відстані до джерела седиментації та механічного складу ґрунтів. Особливо високий рівень підлугування ґрунтів встановлюється у спекотну суху погоду. Аномальне підлугування знижує вміст N, P, K і погіршує живлення рослин.*

**Ключові слова:** седиментація, сірі лісові ґрунти, підлугування, сума поглинених основ, лужні метали

**Вступ.** Ступінь пошкодження лісових насаджень аеротехногенним забрудненням залежить не тільки від рівня забруднення атмосфери, але й інших компонентів екосистеми, в т.ч. і ґрунтів. У разі тривалого періоду забруднення відбуваються значні зміни хімізму ґрунтів. Ґрунти в зоні магнезитового заводу перетворилися на солончаки, а мідеплавильного заводу – в сірчаноокислі підзоли [11]. Підкислення ґрунтів внаслідок атмосферних кислотних випадань виявлено на значних площах у багатьох районах Європи [10, 20]. Залежно від хімізму та інтенсивності забруднення, властивостей ґрунтів характер зміни може бути різним [4, 9, 12, 13, 22].

Для викидів цементних виробництв характерний певний дуалізм: хоча домінуючим є вплив кінцевого продукту випалу цементу лужного клінкерного пилу [18], викидається також певна кількість кислих оксидів сірки і азоту [3, 8-10]. Сильно підлугуючи ґрунти [3, 6, 8, 14, 15, 22], пил має летальний вплив на рослинність [7, 8, 14-17, 19, 21]. Аномальне підлугування ґрунтів і всихання деревостанів виявлено у зоні не тільки діючих, але й давно не працюючих підприємств [21].

**Об'єкти і методика досліджень.** Вивчення впливу забруднення атмосфери викидами Миколаївського ПАТ «Миколаївцемент» Львівської обл.

(далі – «Миколаївцемент») на сірі лісові ґрунти букових насаджень проведено методом порівняльної екології на постійних пробних площах (ППП), що розташовані на відстані 3-15 км і формують екоряд аеротехногенної трансформації. Вказані PPP закладено у 1977 р. відповідно до загальноприйнятих у лісівництві методик [1] у 35-40-річних насадженнях урочища Розділ (однойменного лісництва ДП «Стрийське ЛГ») у вологій грабовій бучині ( $D_3$ -зБк).

Об'єктами досліджень у зоні сильної седиментації на відстані 2,5-3,5 км від «Миколаївцементу» були також підтипи сірих лісових ґрунтів: 1) темно-сірі під 35-річним буковим деревостаном; 2) сірі лісові під 100-річним буковим деревостаном; 3) світло-сірі під 10-річним чистим сосновим і 45-річним мішаним сосново-буковим деревостаном. Властивості ґрунтів визначено за загальноприйнятими у ґрунтознавстві методиками [2].

«Миколаївцемент» був донедавна одним із найпотужніших джерел забруднення атмосфери у Прикарпатті. Першу його піч було введено у 1950 р., у 1966 р. їх вже працювало шість, а у 1984 р. – вісім печей. Максимальний обсяг викидів зафіксовано у 1985-1986 рр. (37-41 тис. т/рік). Наприкінці 1980-х і особливо у другій половині 1990-х років (1,7-2,1 тис. т/рік) величина викидів суттєво знизилася.

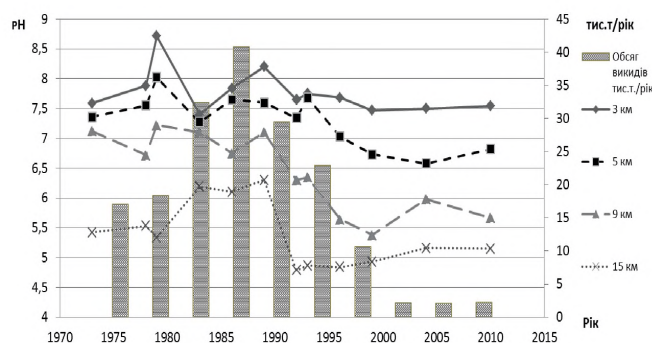
<sup>1</sup> **ВОРОН Володимир Пантелеймонович** – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, старший науковий співробітник, кандидат сільськогосподарських наук, завідувач лабораторії екології лісу, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького (УкрНДЛПГА), м. Харків, Україна. Тел.: +38-097-277-59-98. E-mail: voron@urifm.org.ua



Основну частку викидів становить клінкерний пил – 77-78, оксиди азоту – 10-18 і сірки – 2-4%. У складі пилу міститься 78-85% оксидів лужних металів. Реакція його сильно лужна (рН=10-11). Крупнодисперсні частинки пилу (>10 мк), які осідають поблизу «Миколаївцементу», складають майже 60%.

**Результати дослідження.** Завдяки вивченню хімічного складу снігового покриву встановлено, що на початку 1990-х років у радіусі 5 км рівень седиментації забруднювачів перевищував 2 т/га на рік. Сніг забруднюється як під час проходження прихмарного шару повітря, так і внаслідок седиментації викидів уже на земній поверхні. Підтвердженням першого є значне забруднення снігу, що тільки випав, другого – постійне зростання його лужності під час лежання на землі. Так, рН свіжих опадів перевищував 7, а безпосередньо біля комбінату – 8 за природного значення 5,5-6 [7]. Після місяця лежання на земній поверхні значення рН снігу поблизу комбінату збільшилося від 7,9 до 9,3-10,9. Причиною забруднення опадів є аномальний вміст лужних катіонів. Наприклад, вміст кальцію перевищував природний у 10-33 рази.

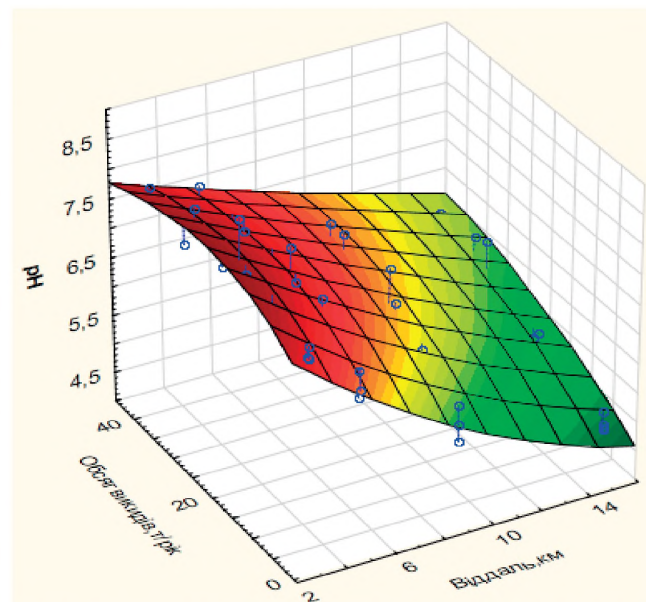
Перші дослідження сірих лісових ґрунтів здійснено ще в 1973 році [5]. Кислотність ґрунтів у період 1973-2010 рр. визначалася рівнем (рис. 1) викидів «Миколаївцементу». Вже в 1970-х роках внаслідок седиментації сильнолужного пилу, реакція верхнього горизонту ґрунту змінилася від слабокислої (на контролі рН = 5,77) до лужної (на території «Миколаївцементу» рН = 8,42). Із віддаленням від джерела забруднення рН знижувався до 7,25 на відстані 5 км і до 6,49 – на 7 км (рис. 1).



**Рис. 1. Динаміка рН Н<sub>2</sub>О гумусового горизонту сірих ґрунтів букових насаджень зони ВАТ «Миколаївцемент»**

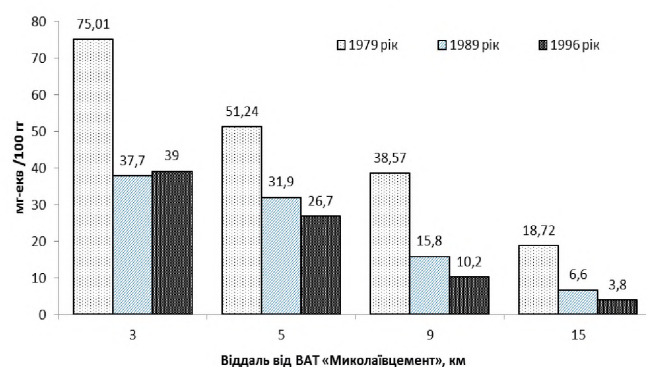
Після пуску нових печей і збільшення висоти труб у середині 1980-х років зріс рівень і радіус забруднення. Підлюговувалися ґрунти навіть на ППП на відстані 15 км від «Миколаївцементу» (рис. 1, 2). Так, якщо наприкінці 1970-х років реакція гумусового горизонту ґрунту на ній була помірно кислою, то в кінці 1980-х – слабокислою. В зоні максимальної седиментації реакція верхнього горизонту була помірно лужною впродовж всього періоду досліджень (див. рис. 1, 2). Через аномальний рівень забруднювачів, навіть у період найнижчого рівня викидів, реакція гумусового горизонту ґрунту залишається слаболужною (див. рис. 2). Підвищення рН в окремі роки пов'язано з посушливою погодою.

джен (див. рис. 1, 2). Через аномальний рівень забруднювачів, навіть у період найнижчого рівня викидів, реакція гумусового горизонту ґрунту залишається слаболужною (див. рис. 2). Підвищення рН в окремі роки пов'язано з посушливою погодою.



**Рис. 2. Залежність рН Н<sub>2</sub>О гумусового горизонту від обсягу викидів та віддалі до «Миколаївцементу»**

Причиною підлюговування ґрунтів є підвищення вмісту лужних і лужноземельних металів. Вміст обмінних катіонів у ґрунті, що становить суму поглинутих основ, у гумусовому горизонті в зоні максимальної седиментації (рис. 3) наприкінці 1970-х років досягає аномального рівня – 74,76 мг-екв/100 г ґрунту, що в 4,1 раза більше, ніж на контролі. У період зниження рівня викидів, суми поглинутих основ зменшуються. Так, у середині 90-х, порівняно з кінцем 70-х років (див. рис. 3), у зоні сильної седиментації (3 км), вона знизилася в два рази. Особливо значне зниження суми обмінних основ спостерігається у найбільш віддалених насадженнях – на відстані 15 км майже п'ять разів.

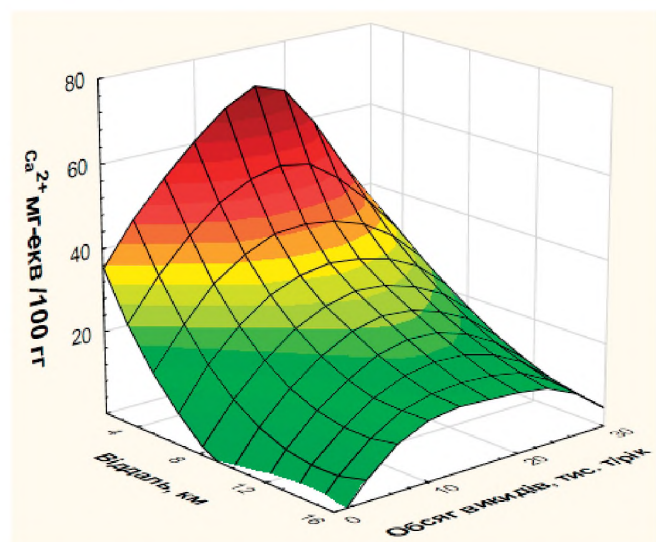


**Рис. 3. Динаміка суми поглинутих основ у гумусовому горизонті сірих ґрунтів зони «Миколаївцементу», мг-екв /100 г ґрунту**



У сумі поглинених основ (рис. 4) домінує кальцій (80-85%). Так, якщо в 1978 р. на контролі (за 15 км від джерела) у верхньому горизонті вміст кальцію становив 15,6 мг-екв/100 г ґрунту, то на відстані 7 км від цементного виробництва – 30, 5 км – 33, а 3 км – 63 мг-екв/100 г ґрунту або в 4 рази більше, ніж на контролі. Про техногенне походження кальцію свідчить зменшення його в 90-ті роки порівняно з 70-ми (на ППП – в 1,7 раза).

Незважаючи на зменшення викидів, навіть у 90-ті роки вміст кальцію зростає з наближенням до «Миколаївцементу» (рис 4). При цьому значно зросла відмінність між техногенною зоною і контролем. Так, якщо наприкінці 1970-х вміст кальцію в гумусовому горизонті на відстані 3 км від заводу перевищував контроль в 3,8-4,1 рази, то в 1996 р. – у 30 разів. Тобто накопичився аномальний рівень кальцію, вимивання якого йде повільно.



**Рис 4. Вміст обмінного  $\text{Ca}^{2+}$  у гумусовому горизонті сірих ґрунтів залежно від обсягу викидів та віддалі до «Миколаївцементу»**

За аномального нагромадження в ґрунтах кальцію, магнію і калію збільшується вміст їх водорозчинних, обмінних і рухливих форм [3, 6-8, 14, 15]. Насиченість ґрунтів основами в радіусі до 5 км досягає 93-98% (табл.), тобто майже повністю вичерпується буферна ємність ґрунтів.

Таблиця

**Відсоток насиченості сірих ґрунтів основами наприкінці 1990-х рр.**

| Глибина відбору, см | Відстань до «Миколаївцементу», км |       |       |       |
|---------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
|                     | 3                                 | 5     | 9     | 15    |
| 0-5                 | 98,34                             | 92,97 | 65,05 | 19,00 |
| 5-10                | 89,55                             | 27,59 | 24,25 | 13,79 |
| 10-20               | 82,14                             | 23,17 | 15,28 | 12,70 |
| 20-35               | 76,38                             | 46,92 | 43,04 | 45,86 |

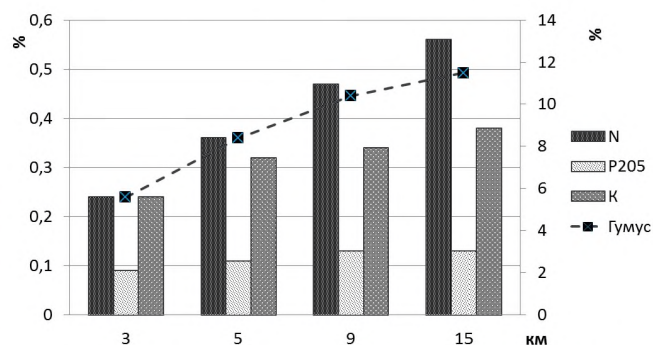
Забруднення має поверхневий характер. Особливо сильне підлугування і високий вміст лужних металів у гумусовому горизонті. Глибина сильного підлугування на відстані 3 км від заводу – 30, на відстані 7 км – 10 см.

Величина забруднення (різниця між вмістом лужних елементів у зоні забруднення і контролем) 120-сантиметрового шару ґрунту на відстані 3 км становить 7,44, 5 км – 3,91, 7 км – 2,90 т/га. В шарі ґрунту глибиною до 50 см міститься 70-85% забруднень. Особливо сильно забруднений шар завглибшки до 10 см, в ньому міститься до 54% лужних елементів [6].

Максимальний рівень підлугування ґрунтів спостерігається у період спекотної сухої погоди. Реакція ґрунтів у радіусі до 5 км від заводу комбінує в цей період змінилася до лужної, а 7 км – до слаболужної. При цьому вміст  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  у спекотний період зріс в 1,2-1,4 рази.

Розподіл забруднювачів по профілю залежить від механічного складу ґрунтів. У зоні сильної седиментації найбільш сильно підлугуюються темно-сірі лісові ґрунти. Сума катіонів у верхніх горизонтах темно-сірих ґрунтах в два рази більша, ніж у світло-сірих. Однак у легкосуглинкових ґрунтах вони вимиваються на значно більшу глибину.

Досліджувані сірі лісові ґрунти (рис. 5) за своєю природою родючі: вміст гумусу досягає 11, валового азоту – 0,57, фосфору – 0,13, калію – 0,39%, а доступної для рослин аміачної – 9,47, нітратної форми – 2,19, фосфору – 12 мг/100 г ґрунту. Однак, незважаючи на ці потенційні можливості, внаслідок забруднення у верхньому горизонті вміст гумусу в зоні максимальної седиментації зменшився у 2,2, валового азоту – у 2,4, фосфору – в 1,4, калію – в 1,6 рази, а вміст доступних для рослин форм основних елементів живлення аміачної форми азоту – в 1,43, нітратної – в 1,38, фосфору – в 1,33 рази. Нагромадження окислів кальцію і магнію за зниження поглинальної здатності калію фосфору і азоту призводить до зменшення доступності для рослин більшості поживних речовин [3, 4, 7, 14, 15]. Вміст фосфору зменшується до критичного рівня, знижується рухомість заліза та фосфору, знижується рухомість заліза та фосфору, що призводить до хлорозу листя [3, 6].



**Рис. 5. Вміст гумусу та загальних форм N, P, K у гумусовому горизонті сірих ґрунтів в зоні «Миколаївцементу»**



**Висновки.** Внаслідок седиментації цементного пилу в зоні «Миколаївцементу» реакція гумусового горизонту сірих лісових ґрунтів у букових насадженнях змінилася від слабкокислої до лужної. Інтенсивність підлугування ґрунтів залежить від рівня седиментації викидів. Пуск нових потужностей і збільшення висоти труб викиду в середині 1980-х років посилило та збільшило радіус підлугування ґрунтів. Зі зменшенням об'єму викидів підлугування ґрунтів знизилося. Однак навіть після значного зменшення викидів у зоні сильної седиментації аномальне підлугування не зникає.

Причиною підлугування ґрунтів є підвищення вмісту в них лужних катіонів. Сума поглинених основ в гумусовому горизонті в зоні максимальної седиментації викидів наприкінці 1970-х років досягла аномального рівня і була в 1,8-4,1 рази більша, ніж на контролі. Насиченість ґрунтів основами в радіусі до 5 км досягає 93-98% за майже повністю вичерпаної їх буферної ємності.

Підлугування має поверхневий характер, а його глибина залежить від відстані до джерела забруднення та механічного складу ґрунтів. У радіусі до 3 км від «Миколаївцементу» аномальне підлугування відзначається до глибини 30, на відстані 7 км – 10 см. У легкосуглинкових світло-сірих ґрунтах рН і сума обмінних основ у верхніх шарах майже в два рази менша, ніж у важкосуглинкових темно-сірих ґрунтах. Однак у легкосуглинкових ґрунтах аномальне підлугування значно глибше.

Особливо високий рівень підлугування гумусового горизонту ґрунтів встановлюється в періоди жаркої сухої погоди.

Найбільш забрудненими є ґрунти у найближче розташованих до «Миколаївцементу» лісах. Із віддаленням від виробництва рівень підлугування знижується. Величина суми поглинених основ в трикілометровій зоні сильної седиментації в середині 90-х, порівняно з кінцем 70-х років, знизилася майже в два рази.

Седиментація цементного лужного пилу зумовлює аномальне нагромадження кальцію, магнію і калію, внаслідок чого ступінь насиченості основами ґрунтів у зоні дії викидів «Миколаївцементу» зростає до максимального рівня, за якого їхня буферна ємність майже повністю вичерпується.

Нагромадження аномальних рівнів кальцію і магнію призводить до зниження вмісту калію, фосфору та азоту і зменшення їх доступності для рослин.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анучин Н.П. Лесная таксация: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Анучин Н.П. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 552 с.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв: моногр. / Аринушкина Е.В. – М.: Изд. МГУ, 1970. – 488 с.
3. Армолайтис К.Э. Влияние выбросов цементного завода на физико-химические свойства лесных почв / К.Э. Армолайтис, М.В. Вайчис, Л.В. Кубяр-

тавичене, А.Д. Рагуотис // Почвоведение. – 1995. – № 9. – С. 1160–1165.

4. Влияние атмосферного загрязнения на свойства почв / Под ред. Л.А. Гришиной. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 205 с.

5. Ворон В.П. Влияние промышленных выбросов цементного комбината на рост и состояние буковых насаждений / Аннотация студенческих работ, награжденных медалями и дипломами МВССО СССР и ЦК ВЛКСМ по итогам Всесоюзного конкурса 1974-1975 учебного года на лучшую научную работу студентов вузов СССР // В.П. Ворон – Львов, 1975. – С. 24-25.

6. Ворон В.П. Устойчивость лесных насаждений к воздействию загрязнения атмосферы выбросами цементного и калийного производства в условиях Прикарпатья. : автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. с.-х наук: спец. 06.03.03 «Лесоведение и лесоводство» / В.П. Ворон. – Харьков, 1983. – 19 с.

7. Ворон В.П. Трансформація букових екосистем в умовах забруднення атмосфери цементним пилом / В.П. Ворон // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2002. – Вип. 100. – С. 17-27.

8. Ворон В.П. Вплив забруднення природного середовища викидами Балаклійського цементно-шиферного комбінату на лісові екосистеми / В.П. Ворон, Л.А. Песоцький // Лісівництво та агролісомеліорація. – 1993. – Вип. 87. – С. 10-14.

9. Влияние загрязнений воздуха на растительность / Под ред. Х.-Г. Десслера: Пер. с нем. / Бертитц С., Эндерляйн Х., Энгманн Ф. и др. – М.: Лес. пром-сть, 1988. – 184 с.

10. Добровольский Г.В. Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере / Добровольский Г.В., Бабьева И.П., Богатырев Л.Г. – М.: Наука, 2003. – 364 с.

11. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда / Ю. З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 124 с.

12. Копчик Г.Н. Устойчивость лесных почв к атмосферному загрязнению / Г.Н. Копчик // Лесоведение. – 2004. – №4. – С. 61.

13. Лукина Н.В. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаяжных лесах / Н.В. Лукина, Т.А. Сухарева, Л.Г. Исаева. – М.: Наука, 2005. – 262 с.

14. Распопіна С.П. Аеротехногенна трансформація соснових екосистем середньої течії басейну р. Сіверський Донець : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-х. наук: спец. 06.03.03 «Лісівництво і лісівництво» / С. П. Распопіна. – Харьков, 2003. – 20 с.

15. Шелуха В.П. Изменение сосновых биогеннозонах широколиственных лесов при хроническом воздействии веществ щелочного типа : автореф. дисс. на соиск. уч. степени докт. с.-х наук: спец. 06.03.03 / В.П. Шелуха. – Брянск, 2003. – 34 с.

16. Bohne H. Schudlichkeit von Snaub aus Zementwerken fur Waldbestande/ H.Bohne //Allgemeine Forstzeitschrift. – 1963. – В.18. – №7. – S. 46.



17. Czaja A. Th. Zementstaubwirkungen auf Forstpflanzen / A. Czaja // Forstarchiv. – 1962. – H.33. – B.5. – S.31.

18. Darley E. Studies on the effects of cement dust on vegetation / E. Darley // J. of the Air Pollution Control Association. – 1966. – V.16. – №3. – pp. 145-150.

19. Ianculescu M. Influenta polufrii aerului asupra cresterii padurilor : monogr. – Bucuresti: 1977. – 46 p.

20. Nilsson S.I. Acidification-induced chemical changes of forest soils during recent decades / S.I. Nilsson, G. Tyler // Ecol. Bullet. – 1995. – V. 44. – pp. 54-64.

21. Rhoads A. Forest species show a delayed response to cement dust in the soil / A. Rhoads // J. of Arboriculture. – 1976. – V.2, 10. – pp.197-199.

22. Voron V.P. Aerial-technogenic transformation in the forest ecosystems of the Ukraine / V.P. Voron // In: Collection of Papers by Ukrainian Members European Society for Soil Conservation. – 1997/3. – pp. 45-54.

*В.П. Ворон*

## ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В ЗОНЕ СЕДИМЕНТАЦИИ ВЫБРОСОВ ПЫЛИ ЧАО «МЫКОЛАЙВЦЕМЕНТ»

Представлены результаты сорокалетних исследований химизма почв на постоянных пробных площадях экоряда, заложенного в буковых насаждениях на расстоянии 3-15 км от ЧАО «Мыколаивцемент». Интенсивность подщелачивания почв зависит от уровня выбросов. Причиной подщелачивания является аномальное накопление щелочных металлов, прежде всего кальция. Насыщенность им почв достигает 93-98%, т.е. уровня, когда почти полностью исчерпана их буферная емкость. Подщелачивание имеет поверхностный характер и его глубина зависит от расстояния до источника седиментации пыли и механического состава почв. Особенно высокий уровень подщелачивания почв устанавливается в жаркую сухую погоду. Аномальное подщелачивание снижает содержание азота, фосфора и калия, что ухудшает питание растений.

**Ключевые слова:** седиментация, серые лесные почвы, подщелачивание, сумма поглощенных оснований, щелочные металлы

*V. Voron*

## DYNAMICS OF GREY SOILS CONTAMINATION IN AREA OF DUST SEDIMENTATION BY THE PUBLIC CORPORATION "MYKOLAIVCEMENT"

The level of forest damage by technogenic pollution depends on the level of contamination in ecosystem components including soils. The results of 40 years

study of chemical change of soils composition in the beech stands under atmosphere contamination by discharges of cement production in Near-Carpathian region are presented. The influence of atmosphere contamination on forest soils was researched in the permanent sample plots in the beech stands under aerotechnogenic transformation. These plots were laid in 1977 at the distance of 3-15 km from Public Corporation «Mikolaivcement». It was found, that intensity of grey soils alkalinization in the area of sedimentation depends on the level of discharges from Public Corporation «Mikolaivcement».

The continuous sedimentation of alkaline cement dust in the forests around Public Corporation «Mikolaivcement» changed the reaction of humus horizon of soil from weakly acid to alkaline reaction. Growth of cement production and increase of chimney height in a middle 1980th brought to strengthening of pollution and increase the radius of alkalinization of soils. Diminishing of discharges volume in 1990 and 2000 brought to reduction of alkalinization of soils. However even after the alkalinization level is still anomalous.

The reason of alkalinization of soils is an increase of K, Na, Ca and Mg content. Content of these exchangeable cations in the humus soil horizon makes the sum of absorbed bases. It was anomalous and 1.8-4.1 times exceeded control in the area of maximal sedimentation of discharges of Public Corporation «Mikolaivcement» at the end of 1970-th. Saturation of soils by bases in a 5 km radius amounted 93-98%, and the buffer capacity of soils was almost fully depleted. Calcium prevails in the sum of absorbed bases (80-85%). In spite of diminishing of discharges, even in 1990th calcium content increased nearer to Public Corporation «Mikolaivcement» of contamination has superficial character. Depth of soil alkalinization amounted 30 cm at the distance 3 km from Public Corporation «Mikolaivcement» and 10 cm at the distance 7 km. Soil contamination of 0-50 cm soil layer amounted 70-85%. Soil contamination by alkaline elements in 120 cm layer amounted 7.44 t/ha in the distance of 3 km from enterprise, 3.91 t/ha in 5 km, 2.9 t/ha in 7 km from enterprise.

The distribution of pollutants by soil types depends on mechanical composition of soils. In the area of severe sedimentation the most severe alkalinization of darkly grey soils was registered. In spite of high fertility of such soil, severe sedimentation in the upper soil layer brought to decrease of humus content in 2.2 times, gross nitrogen – in 2.4 times, phosphorus – in 1.4 and potassium in 1.6 times.

The accumulation of alkaline metals oxides in the soil brought to diminishing of availability the most of nutrients for plants, and diminishing of phosphorus content to the critical level brought to decrease of Fe and P mobility which resulted in leaves chlorosis.

**Key words:** sedimentation, grey forest soil, alkalinization, sum of absorbed bases, alkaline metals