

## ҐРУНТИ СОСНОВИХ ЛІСІВ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ

*Український науково-дослідний інститут лісового господарства  
та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького*

Проаналізовано стан ґрунтів соснових лісів Харківського регіону в умовах тривалого промислового забруднення. Запропоновано якісно-кількісну систему індикаторів забруднення структурних компонентів лісових екосистем.

*Ключові слова: лісові ґрунти, промислові викиди, діагностичні критерії забруднення соснових екосистем.*

S. P. Raspopina, V. P. Voron

*G. M. Vysotsky Ukrainian research institute of the forestry and forest amelioration*

### SOILS OF THE PINE FORESTS IN THE INDUSTRIAL POLLUTION ENVIRONMENT

The state of pine forests' soils in the condition of long-term industrial discharges in Kharkiv region was analyzed. The qualitative-quantitative system of indicators of structural components' pollution in forest ecosystems was developed.

*Key words: forest soils, industrial discharges, diagnostic criteria of pine forests' pollution.*

В умовах інтенсивного антропогенного тиску на довкілля та глобальної загрози зміни клімату Землі все гострішими стають проблеми раціонального природокористування, збереженості й відтворення природних, особливо лісових, екосистем. Для забезпечення біологічного різноманіття та стійкості лісів до несприятливих екологічних факторів виникає необхідність вирішення низки важливих наукових проблем. Серед них на перший план постають питання об'єктивної оцінки стану лісів, тобто моніторингу, устанавлення причинно-наслідкових механізмів їх ослаблення та можливих шляхів коригування цих механізмів з метою пом'якшення негативного впливу на ліси. Однією з причин ослаблення лісових екосистем може стати незадовільне функціонування ґрунтів із їх мікрофлорою (що забезпечує кругообіг речовин у природі), чим і продиктовано акцентування наших досліджень на едафотопі (лісові ґрунти та підстилки).

Ліси Харківської області мають обмежений експлуатаційний режим і переважно представлені свіжими дібровами та суборами. У суборах домінуючим типом лісу є дубово-сосновий, де сосна виявляє найвищу продуктивність. При незначній лісистості (12,1 %) область відзначається потужним промисловим потенціалом та погодними умовами, що зменшують імовірність швидкого розсіювання промислових емісій: часто бувають штилі, слабкі вітри, стійка стратифікація атмосфери («Сводный проект ...», 1992; Логвинов, 1972). Це робить її регіоном підвищеної екологічної небезпеки для довкілля.

Одними з найпотужніших підприємств Харківщини є Зміївська ТЕС (ЗТЕС) та Балаклійський цементний комбінат («Балцем»), поруч із якими на надзаплавній терасі Сіверського Донця виростають великі масиви соснових лісів (10 С) штучного походження на дернових опідзолених, середньоглибоких, дрібнозернистих ґрунтах, що сформувалися на давньоалювіальних пісках.

Пробні площі закладали на різній віддалі від джерел забруднення (1,5–28 км) з урахуванням рози вітрів. Рівень забруднення визначали за зміною хімічного складу снігового покриву, вивчення ґрунтів і підстилок проводили класичними методами ґрунтознавства й агрохімії (Назаров, 1978; Руководство по контролю ..., 1979; Агрохимические методы ..., 1975).

Тривалий (близько 15 років) період спостережень дозволив оцінити ступінь порушення стану окремих елементів екосистеми соснового лісу при кардинально різних рівнях промислового навантаження та розробити якісно-кількісну систему діагностичних показників їх забруднення, що надає оригінальність проведеним дослідженням.

Основні фітотоксиканти у складі викидів ЗТЕС –  $SO_2$ ,  $NO_x$ , важкі метали (ВМ). Відходи цементного виробництва – пил ( $pH > 11$ ), складений сполуками  $Ca$ ,  $K$  з домішками  $Na$ ,  $Mg$ ,  $Al$ ,  $Fe$ ,  $N$ ,  $C$ ,  $S$ , важких металів, певний час не відносили до особливо небезпечних. Більш того, в агрохімічних довідниках їх рекомендовано до застосування як калійне добриво та меліорант для вапнування кислих ґрунтів («Справочник агрохіміка», 1980; «Справочник агрохіміка», 1974). Можливо, такі рекомендації є слушними, хоча, на нашу думку, занадто висока лужність відходів та вміст ВМ потребує критичного підходу до їх багаторазового використання в агроценозах. Вплив цементного пилу на лісові ґрунти та культури буде розглянуто нижче.

Визначено, що зона до 6,5 км від ЗТЕС має найвищий рівень забруднення, де у сніговому покриві у п'ять разів збільшується вміст  $HCO_3^-$  та  $Ca^{2+}$ , удвічі –  $SO_4^{2-}$  та  $K^+$ , утричі –  $Na^+$ , підвищується його реакція на одну одиницю  $pH$ , а також з'являються важкі метали –  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$ .

Зона максимального впливу «Балцему» поширюється до 2 км. Її опади, порівняно з контролем, містять у одинадцять разів більше  $Mg^{2+}$  та в тридцять  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ , що переважно зв'язані з  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  і навіть з  $CO_3^{2-}$ , чим спричиняється аномальна лужність снігу – до 11 одиниць  $pH$ . З віддаленням від джерела викидів рівень забруднення меншає і на відстані  $> 9$  км здебільш є незначним.

Завдяки значному скороченню об'ємів викидів обох виробництв починаючи з 1995 р. знижується міра забруднення опадів, а у 2000 р. їх хімічний склад наближався до фонового.

Стіна лісу біля «Балцему» є своєрідним біологічним бар'єром, що перешкоджає розповсюдженню викидів (особливо їх пилової фракції) і тим самим скорочує зону забруднення. При цьому максимальний промисловий пресинг зазнає узлісся, яке затримує у 10 разів більше техногенного пилу, відносно глибини масиву. У цілому за рік при найвищих обсягах емісій у санітарно-захисній зоні (територія комбінату) осідає 4,4 т/га пилу, у лісовій до 2 км – близько 3, до 9 км – 2 т/га.

Промислові викиди (у вигляді пилу та розчинених в атмосферних опадах речовин) осаджуються на крони дерев та ґрунти, що вкриті лісовими підстилками, з чим пов'язані істотні відмінності забруднення лісів, порівняно з агроценозами. Отже, у лісових екосистемах слідом за рослинністю значного техногенного навантаження зазнають підстилки, що стають потужними сорбентами поллютантів, завдяки чому наслідки їх негативного впливу на ґрунти дещо ослаблюються.

Найбільшою адсорбційною здатністю відзначаються перегнійна маса нижніх підгоризонтів підстилок ( $H_0^3$ ), яка активно накопичує основні інгредієнти викидів; для цементного виробництва це  $K^+$  та  $Ca^{2+}$ . Їх уміст перевищує контроль відповідно у три та п'ять разів і спричиняє зміну природно кислої реакції підстилок ( $pH$  4,8) на техногенну – лужну ( $pH$  7,2).

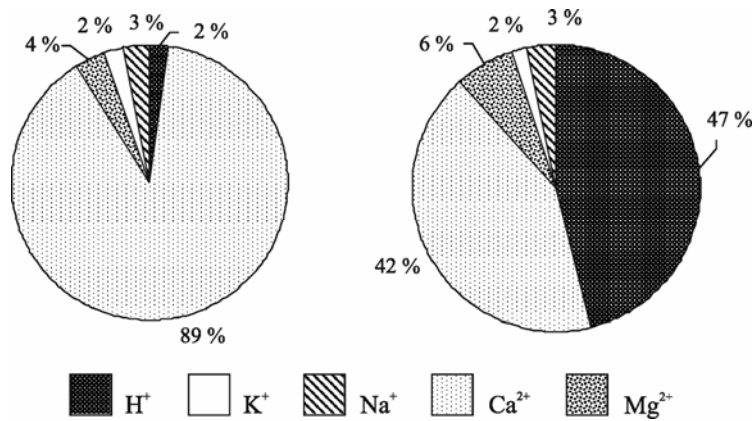
Лісові підстилки досліджуваних промислових зон також інтенсивно адсорбують сполуки сірки й важких металів ( $Co$ ,  $Ni$ ,  $V$ ,  $Sr$ ,  $Cr$ ,  $Cu$ ,  $Pb$ ). Акумуляція сірки у зоні ЗТЕС переважно відбувається за рахунок опадів хвої, яка піддається впливу  $SO_2$ , а «Балцему» – гравітації пилових фракцій викидів, що містять сірку. Запаси сірки у підстилках техногенних зон зростають до 70–97 кг/га проти 37–52 на контролі.

Слід відзначити, що зміни складу лісових підстилок під впливом ЗТЕС залежать ще й від її технологічного режиму. Так, підвищення рівня викидів протягом опалювального сезону зумовлює збільшення величини зольності підстилок до 80 % навесні, порівняно з осіннім періодом. При цьому для підстилок поза зоною забруднення характерна протилежна тенденція динаміки зольності протягом року.

Отже, під впливом промислового забруднення хімічний склад лісових підстилок набуває характер техногенного, а їх розкладання та промивання атмосферними

водами обумовлює міграцію поллютантів у ґрунти, чим спричиняється зміна їх основних фізико-хімічних властивостей. У зоні впливу цементного виробництва вони стосуються перш за все кислотно-обмінного режиму і характеризуються мірою порушення складу вбирного комплексу ґрунтів (ВКГ) (рисунк).

У природних умовах вбирний комплекс гумусового горизонту досліджуваних ґрунтів насичений переважно  $Ca^{2+}$  та  $H^+$ . Їх частки від загального вмісту катіонів коливаються від 40 до 47 %, інші катіони складають близько 10 % (рисунк).



Склад ВКГ у зоні впливу цементного виробництва (ліворуч) та поза нею (праворуч)

Втручання у хімізм ґрунтових процесів техногенних сполук призводить до того, що у ВКГ зони найвищого рівня забруднення відмічено абсолютне домінування  $Ca^{2+}$ , питома вага якого збільшується до 83 %, при зниженні  $H^+$  до 3 %. Зростає також уміст лужних катіонів  $K^+$  та  $Na^+$  місцями до 16 %.

Насичення лісових ґрунтів сполуками основних металів призвело до зменшення їх буферної здатності до підлугування майже у 19 разів.

Уже зазначалося, що седиментацію цементного пилу, унаслідок якої у ВКГ заміщується  $H^+$  на  $Ca^{2+}$ , можна розглядати як вапнування ґрунтів. Цей прийом широко використовують для збільшення продуктивності кислих земель, але загальновідомо, що хвойні ліси як природного, так і культурного походження переважно приурочені до ґрунтів саме з кислою реакцією розчину і виявляють на них найвищі бонітети. У той самий час лужна реакція, навпаки, часто спричиняє зниження стійкості деревостанів до стресових факторів зовнішнього середовища (Кулагин, 1974; Шелуха, 2001). Слід також враховувати, що так зване «техногенне вапнування» відбувається протягом 30 років, що й призвело до кардинальних змін екологічних умов зростання соснових лісів.

Поблизу джерела викидів утворилися і зберігаються протягом усього періоду досліджень зони з аномально високою реакцією ґрунту – до 9 одиниць  $pH$ , що на 4–4,5 одиниці вище фонового рівня, де навіть зниження обсягів викидів комбінату (часом у п'ять разів) суттєво не поліпшило стан ґрунтів, і тільки у зоні середнього рівня забруднення спостерігаються його відновлення.

Для відстеження змін хімічного складу окремих елементів лісових екосистем при різних рівнях забруднення ми обрали інтегральний показник  $pH$ , що відбиває співвідношення між аніонами та катіонами, легко визначається і відповідно може слугувати індикатором такого типу забруднення, при якому порушується рівень кислотності об'єктів.

Установлено, що в техногенній зоні при максимальних обсягах емісії величини  $pH$  окремих середовищ лісової екосистеми є дуже високими (як і їх міра забруднення) з поступовим зниженням у ряду:

атмосферні опади → підстилки → ґрунти.

При мінімальних – суттєво знижується тільки рівень забруднення опадів, сильно лужна реакція яких змінюється до нейтральної, а згодом до слабкислої, у той час як для едафотопу (особливо ґрунтів) – залишається значним (лужні значення  $pH$ ). Отже, унаслідок насиченості поллютантами підстилок та їх повільної трансформації (що встановлено для техногенної зони) технохімічний склад лісових ґрунтів підтримується навіть при зниженні підприємствами обсягів викидів.

Гумусові горизонти лісових ґрунтів зони «Балцему», окрім лужних компонентів викидів, забруднені сполуками обмінної сірки та важких металів, що також характерно і для зони ЗТЕС.

Зміни агрохімічних властивостей ґрунтів у зоні ТЕС відносно цементного виробництва менш виражені, що пояснюється різними фізико-хімічними характеристиками викидів і умовами їх розсіювання. Зміни ж біологічних властивостей виявилися істотними при обох типах забруднення. Визначено, що у техногенній зоні до 3,5 рази від контролю гальмується функціонування однієї з провідних (для розкладання органічної речовини) груп мікроорганізмів – целюлозоруйнівних (Звягинцев, 1978; Распопіна, 1998, 1999). Це спровокувало уповільнення ряду найбільш важливіших процесів обміну речовин (мінералізацію органічних речовин із вивільненням елементів живлення, синтез гумусу) та стало однією з причин відхилення природного напрямку біогеохімічного кругообігу у бік антропогенного.

Незадовільні лісорослинні властивості ґрунтів є однією з причин погіршення санітарного стану деревостанів від «здорового» до «ослабленого» і «сильноослабленого» зі слабкою та середньою мірою пошкодження (Распопіна, 2003). Один із проявів пошкодження дерев – поодинокі та масові їх ураження фітопатогенами, зокрема кореневою губкою (Усцький, 1999).

За результатами досліджень було розроблено якісно-кількісну систему індикаторів промислового забруднення атмосферних опадів, лісових підстилок та ґрунтів, що може бути використана при проведенні екологічного (у т. ч. ґрунтового) моніторингу та прогнозуванні сучасного стану соснових лісів Слобожанського лісорослинного району (Распопіна, 2003), фрагмент якої наводиться нижче (таблиця).

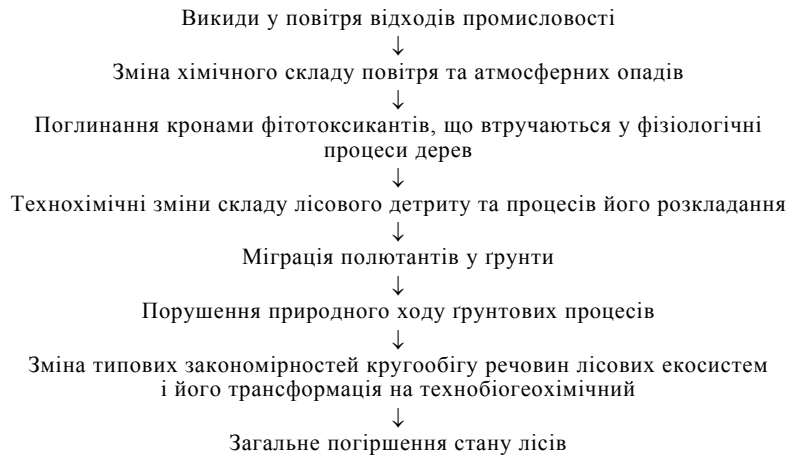
**Індикатори забруднення окремих елементів екосистеми соснового лісу викидами цементного виробництва**

Індикатор	Діапазон змін*
Атмосферні опади (сніговий покрив)	
$pH$	5,6–11,6
$Ca^{2+}$ , мг/л	0,8–120
$SO_4^{2-}$ , мг/л	2,2–34,6
$HCO_3^-$ , мг/л	1,9–393
Уміст нерозчинного пилу, мг/л	25–5410
Лісова підстилка	
$pH$	5,1–8,6
Са, %	0,4–11,9
S, %	0,1–0,2
Зольність, %	20–60
Лісові ґрунти	
Розклад клітковини, %	70–10
$pH$ водне	4,56–8,20
$Ca^{2+}$ , мекв/100 г	5–120,0

\* Перша цифра – середнє значення індикатора на контролі, друга – у техногенній зоні.

Додатковим, дуже простим якісним індикатором забруднення лісів цементним пилом може слугувати скипання підстилок від дії 10%-ного  $HCl$ .

Таким чином, техногенне забруднення ґрунтів є однією з ланок ланцюжка загального погіршення стану лісів, що схематично можна позначити так:



### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Агрехимические** методы исследования почв / Отв. редактор А. В. Соколов. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
- Звягинцев Д. Г.** Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48-54.
- Кулагин Ю. З.** Древесные растения и промышленная среда. – М.: Наука, 1974. – 124 с.
- Логвинов К. Т.** Опасные явления погоды на Украине / К. Т. Логвинов, В. Н. Бабиченко, М. Ю. Кулаковская. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1972. – 236 с.
- Назаров И. М.** Использование сетевых снеговосъемок для изучения загрязнения снежного покрова / И. М. Назаров, Ш. Д. Фридман, О. С. Ренне // Метеорология и гидрография. – 1978. – № 7. – С. 74-78.
- Распопина С. П.** Влияние эмиссий тепловой электростанции на сосновые насаждения среднего течения Северского Донца // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Экология и молодежь». Т. 1, ч. 1. – Гомель, 1998. – С. 130-131.
- Распопина С. П.** Изменение физико-химических свойств и микробиологической активности лесных почв, находящихся в зоне влияния эмиссий цементного производства // Тр. Междунар. конф. мол. ученых «Лес. Наука. Молодежь». – Гомель: Ин-т леса АН Беларуси, 1999. – Т. 2. – С. 95-97.
- Распопина С. П.** Аеротехногенна трансформація соснових екосистем середньої течії басейну р. Сіверський Донець: Автореф. дис... канд. с.-г. наук: 06.03.03 / УкрНДІЛГА. – Х., 2003. – 19 с.
- Руководство** по контролю загрязнения атмосферы / Под ред. М. Е. Берлянда. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1979. – 326 с.
- Сводный** проект организации и развития лесного хозяйства производственного лесохозяйственного объединения «Харьковлес». Том I, объяснительная записка. – Х., 1992. – 278 с.
- Справочник агрохимика** / Под ред. Т. Н. Кулаковской. – Минск: Ураджай, 1974. – 368 с.
- Справочник агрохимика** – 2-е изд., перераб. и доп. / Составитель Д. А. Кореньков. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 286 с.
- Усцький І. М.** Особливості розвитку вогнищ кореневих гнилей, викликаних кореневою губкою (*Heterobasidion annosum* (Fr) Bref) в зоні забруднення цементними викидами / І. М. Усцький, К. М. Задорожний // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х.: РВП «Оригінал», 1999. – Вип. 94. – С. 48-52.
- Шелуха В. П.** Биоиндикация хронического промышленного воздействия щелочного типа на компоненты хвойных насаждений. – Брянск, 2001. – 205 с.

*Надійшла до редколегії 09.06.06*