



УКРАЇНА

(19) UA (11) 46554 (13) U
(51) МПК (2009)
G01N 33/00
G01N 33/24
A01G 7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ІНДИКАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АЕРАЛЬНО ЗАБРУДНЕНОЇ СИСТЕМИ "РОСЛИНА-ҐРУНТ"

1

(21) u200907417

(22) 15.07.2009

(24) 25.12.2009

(46) 25.12.2009, Бюл.№ 24, 2009 р.

(72) САМОХВАЛОВА ВАЛЕНТИНА ЛЕОНІДІВНА,
ВОРОН ВОЛОДИМИР ПАНТЕЛЕЙМОНОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР "ІНСТИ-
ТУТ ҐРУНТОЗНАВСТВА ТА АГРОХІМІЇ ІМЕНІ
О.Н.СОКОЛОВСЬКОГО"

(57) Спосіб індикації та оцінки екологічного стану аерально забрудненої системи, що включає визначення ділянок забруднення, відбір проб гумусового горизонту ґрунту, пробопідготовку, аналіз ґрунтових проб на вміст важких металів, відбір проб рослин для визначення важких металів, ви-

2

значення вмісту хлорофілу в рослинних пробах, як індикатора забруднення, статистичної обробки отриманих даних щодо ґрунтів, рослин з визначанням позитивних аномальних значень важких металів у ґрунтах, рослинах та негативних - щодо вмісту хлорофілу рослин, виявлення існування зон різного ступеня деградації, який **відрізняється** тим, що забруднення визначають у системі "ґрунт-рослина", при цьому як індикатори забруднення та критерії стану системи визначають додатково рН клітинного соку та анатомо-морфологічні показники, що дає можливість отримати об'єктивні оцінки про стан системи за аеротехногенного забруднення, створення можливості прогнозувати її стан при зниженні трудомісткості.

Корисна модель відноситься до способів діагностики та оцінки забруднення системи "рослина-ґрунт" поллютантами неорганічного походження (сірчистий ангідрид (SO_2), важкі метали (ВМ)) за аерального шляху надходження забруднювачів до деревних рослин, визначення рівнів вмісту активних форм забруднювачів в системі "повітря-рослина-ґрунт" за яких проявляється погіршення екологічного її стану, токсичність аеротехногенних поллютантів.

Спосіб може знайти застосування в агроєкології, екологічному нормуванні, екотоксикології, екологічній експертизі, при розробці концептуальних основ моніторингу, екологічного аудиту техногенно забруднених територій, при оцінці небезпеки та прогнозуванні токсичної дії забруднювачів, розробці заходів детоксикації забруднених територій або проведенні комплексу технологічних, фізико-хімічних і біологічних заходів щодо санації (інактивації токсичності) забруднених ґрунтів та земель і, як наслідок, для зниження інтенсивності процесів деградації лісових екосистем, які зазнали впливу фактору аеротехногенного навантаження. Спосіб також є корисним у вирішенні проблемних питань фітоіндикації промислового забруднення, фітоспе-

ліорації і оцінки якості лісового фонду, пошуку шляхів оптимізації якісного складу лісів, визначення якості лісових ґрунтів за умов сталого або перманентного впливу фактору забруднення, за вирішення питань сертифікації, медико-біологічної оцінки рослинної продукції міських та промислових районів, оцінки ризику забруднення за створення системи ранньої діагностики, оцінки аеротехногенного впливу забруднення та прийняття ефективних управлінських рішень, включення способу до загальної схеми екологічного моніторингу урбанізованих територій.

Відома система детектування флуоресценції для визначення значущих параметрів рослинності, що включає реєстрацію рівня хлорофілу в рослинах з визначанням відносних змін вмісту хлорофілу за листовою площею та множенням одержаного співвідношення на заданий калібрувальний коефіцієнт, що дозволяє отримати абсолютне значення концентрації хлорофілу в рослинах. Останнє є індикатором стадії росту рослин та умов довготривалого стресу, що дозволяє контролювати розвиток рослин, управляти напрямленим внесенням добрив на основі визначення концентрації хлорофілу та встановленої кореляції з вмістом

(13) U

(11) 46554

(19) UA

хімічних елементів в рослинній системі [Заявка на патент G01N21/64 DE №2001113723A, 20.03.2004 "Система детектирования флуоресценции для определения значимых параметров растительности"]].

Проте, спосіб є багатовитратним. Необхідно мати специфічне обладнання та високий рівень кваліфікації операторів системи, що значно підвищує собівартість необхідних операцій відповідно до запропонованого алгоритму, звужує спектр його запровадження та використання.

Інший відомий спосіб передбачає виявлення зон екологічної небезпеки та зон надзвичайних екологічних ситуацій на основі використання критеріїв оцінки змін стану довкілля та здоров'я населення, критеріїв екологічного стану повітря, ґрунтів селітебних територій. Вибір критеріїв екологічної оцінки стану ґрунтів визначається специфікою їх розташування, генезисом, буферністю, направленістю використання. Основними показниками ступеня екологічного неблагополуччя є критерії фізичної деградації, хімічного та біологічного забруднення. Серед інших критеріїв оцінки екологічної ситуації території спосіб передбачає біохімічну оцінку за використання основних (співвідношення C:N, Ca:P, Ca:Sr в поверхневих водах, ґрунтах, рослинах, вміст біологічно активних мікроелементів (ME) та додаткових показників (співвідношення макроелементів в рослинах і кормах, вміст ME в рослинах), з урахуванням площі аномального їх вмісту [Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Методика. - МинПР РФ, 1992. - 58с.].

Проте, спосіб не ураховує того, що з фізіолого-біохімічних позицій екологічно несприятливі території містять компоненти довкілля, що характеризуються різними змінами хімічного складу, співвідношень макро- і ME під впливом як техногенного так і природного факторів. За характером багатовитратності, трудомісткості рекомендованого алгоритму та важливості виявлення негативної дії токсикантів саме на рівні, коли зміни в системі є зворотними, спосіб не ураховує того, що згідно з теорією функціонування біологічної системи саме спрямованість та інтенсивність фізіолого-біохімічних процесів є інтегральними показниками їх стану. Окрім того, під впливом як техногенного так і природного факторів, екологічно несприятливі території характеризуються різними змінами співвідношень фізіологічних процесів рослин, що впливають на якісний склад продуктів синтезу і розкладу, визначають кількісні та якісні показники обмінних процесів в системі ґрунт-рослина. Індикація та оцінка процесів на рівні функціонування та структурної організації системи є важливими складовими за визначення біологічної, гігієнічної якості продукції агроценозів, технологічних властивостей сировини, для визначення спрямованості та інтенсивності процесів її переробки, якості готової продукції.

Відомі способи діагностики та оцінки забруднення характеризуються різними рівнями ефективності їх використання за умов сталого або перма-

нентного впливу аеротехногенного забруднення системи "ґрунт-рослина", однак не передбачають визначення маркерів прояву впливу забруднення BM та SO₂, їх діагностичних характеристик на різних рівнях структурної організації біосистеми. Останні є засобом діагностування, оцінки функціонування системи з метою запровадження заходів з інактивації токсичності, відновлення системи "рослина-ґрунт".

Найбільш близьким аналогом за технічною суттю та результатом, що досягається, є спосіб визначення ділянок забруднення довкілля, який включає визначення забруднених територій, відбір проб гумусового горизонту ґрунту, прободіготовку, аналіз ґрунтових проб на вміст BM, відбір проб рослин для визначення рухомих форм BM, визначення вмісту хлорофілу в рослинних пробах, як індикатора забруднення, статистичної обробки отриманих даних щодо ґрунтів, рослин з визначанням позитивних аномальних значень BM в ґрунтах, рослинах та негативних - щодо вмісту хлорофілу рослин, виявлення існування зон різного ступеня деградації ділянок певних територій з наступним створенням карт [Патент G01V9/00 RU №2264636C2, 20.11.2005 "Способ определения участков загрязнения окружающей среды"]].

Однак, вище зазначений спосіб не ураховує специфіки забруднення (спектр, рівні, характер), що порушує необхідну збалансованість між економічною та екологічною доцільністю проведення індикації і оцінки стану довкілля за забрудненням BM, використанням заходів з інактивації забруднювачів, з урахуванням в них складу токсикантів, видових особливостей рослин та властивостей ґрунтів забруднених територій. Відсутність системного підходу може привести до хибних висновків, щодо індикації та оцінки стану довкілля за забруднення, що значно звужує застосування технічного рішення.

Найближчий аналог не дає можливості визначити показники, які характеризують систему в цілому. Вміст хлорофілу (як окрема характеристика) є неспецифічною реакцією на забруднення, вплив навколишнього середовища та тип ґрунту. Тому для діагностування, оцінки аеротехногенного навантаження слід використовувати систему показників, що характеризує стан певних рівнів організації біосистеми (клітина, тканина, орган тощо), їх індикаційні характеристики (фізіолого-біохімічні, морфологічні, анатомічні). Наприклад, встановленим фактом є збільшення вмісту хлорофілу за малих рівнів забруднення довкілля та зниження його вмісту за зростання забруднення. Відомо, що на карбонатних ґрунтах за нестачі заліза, за посушливих погодних умов вміст хлорофілу також зменшується. Отже використання єдиного показника вмісту хлорофілу за умов багатфакторних впливів у системі не є доцільним. Окрім того, не ураховано рівні фонових забруднень територій, що значно різняться.

В основу корисної моделі поставлена задача - удосконалення способу визначення ділянок забруднення довкілля за рахунок розширення критеріїв оцінки стану системи за забруднення і одержання достовірних даних щодо індикації та оцінки

забруднення системи за умов багатofакторних впливів.

Поставлена мета досягається за рахунок того, що у відомому способі індикації та оцінки екологічного стану аерально забрудненої системи "рослина-ґрунт", який включає визначення ділянок забруднення, відбір проб гумусового горизонту ґрунту, пробопідготовку, аналіз ґрунтових проб на вміст ВМ, відбір проб рослин для визначення ВМ, вмісту хлорофілу в рослинних пробах, як індикатора забруднення, статистичної обробки отриманих даних щодо ґрунтів, рослин з визначанням позитивних аномальних значень ВМ в ґрунтах, рослинах та негативних - щодо вмісту хлорофілу рослин, згідно з винахідницьким задумом забруднення визначають у системі ґрунт-рослина, причому в якості індикаторів забруднення та критеріїв стану системи визначають додатково рН клітинного соку, та анатомо-морфологічні показники, що дає можливість отримати об'єктивні оцінки про стан системи за аеротехногенного забруднення, створення можливості прогнозувати її стан при зниженні трудомісткості.

Для вирішення вищенаведених задач, необхідним є: вибір серед множини показників тільки тих, що характеризують функціональну спрямованість фізіологічних процесів на ранніх стадіях протікання негативних процесів, змін анатомічних і морфологічних характеристик в системі; виявлення та визначення рівнів і характеру забруднення; проведення оцінки стану системи; прогнозування спрямованості фізіологічних процесів, що визначають функціональний її стан, розвиток змін морфологічних, анатомічних ознак системи як найбільш стабільних у порівнянні із характеристиками фізіолого-біохімічних процесів, що визначають прояв токсичних властивостей забруднювачів, впливають на характер процесів самовідновлення системи ґрунт-рослина. Спосіб включає декілька етапів:

1. Моніторинг ґрунтів та деревних рослин в зонах сталої дії фактору аеротехногенного забруднення (натурні дослідження в зонах константного впливу основних центрів промислових емісій ВМ та SO₂ від БАТ "Балцем", Зміївська ТЕС БАТ "Центренерго" Харківської області). Досліджувались деревні рослини сімейства соснових (Pinaceae). Вибір об'єкту досліджень обумовлений його широкою поширеністю, господарською значимістю й можливістю використання протягом року. Відбір зразків ґрунту проводився за [ДСТУ ISO 10381-2:2004 Якість ґрунту. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT), відбір зразків деревних рослин за [Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. - Новосибирск: Наука, 1979. - 280с.]. Пробні площадки закладалися в районах з контрастними рівнями аеротехногенного забруднення.

2. Визначення рівнів вмісту хімічних елементів в пробах рослин (визначення вмісту ВМ як елементів-індикаторів хвої дерев певної території, після їх озолення) проводилось за використання аналітичного методу атомно-абсорбційної спектrophотометрії, чинних методик та нормативних документів. Паралельно вивчалися зміни показників вмісту

різних хімічних елементів у ґрунті. Рівень їх вмісту діагностувався за їх визначанням, оцінка проводилась за рівнем їх накопичення в ґрунті за забруднення в порівнянні з контролем і регіональними показниками фонового вмісту, для рослин - результати визначення зіставлялись з існуючими ГДК.

3. Дослідження основних закономірностей змін фізіолого-біохімічних, морфологічних, анатомічних показників деревних рослин за сукупного впливу аеротехногенних забруднень ВМ та SO₂. Тест реакції сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на забруднення повітря, ґрунту є неспецифічними та відображають лише загальний рівень забрудненості хімічними сполуками різної природи. Тому виділяли групу показників - анатомоморфологічні (приріст основного пагону за рік, розміри генеративних органів, зміна кольору хвої, передчасне зів'янення, дефоліація, час життя, хлороз та некроз хвої, форма їх плям, відсоток ураженої поверхні хвої та ін.), фізіолого-біохімічні (вміст хлорофілів, рН клітинного соку та ін.). Їх визначення проводили за існуючими методами: вміст хлорофілу і інших пігментів - за [Баславская С.С., Трубецкова О.М. Практикум по физиологии растений. - М.: МГУ, 1964. - С.133-154] та використання фотоелектроколориметра КФК-2, анатомоморфологічні, фізіолого-біохімічні показники за [Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений. - К.: Наукова думка, 1976. - 334с.] з послідовим кількісним визначенням параметрів тестових показників деревних рослин.

Встановлено, що характер негативної дії різних кислих газів сумісно з ВМ полягає в порушенні фізіолого-біохімічних процесів у результаті синергізму, сумації, домінування дії поллютантів та підкислення протоплазми клітини, що призводить до посилення окисних процесів, зниження вмісту хлорофілу.

Було проведено порівняльний аналіз деревних рослин за різного ступеню впливу аеротехногенних емісій. За визначенням впливу різних доз забруднювачів на рослини були виділені чотири типи ушкоджень (за характером, глибиною дисбалансу метаболізму): гостре, краплинно-опікове, кумулятивне, приховане. Гострі, краплинно-опікові та кумулятивні ушкодження визначаються візуально або за допомогою морфометричного аналізу деревних рослин. Його результати наведено в таблиці 1.

На підставі отриманих даних визначено кількість хвої на 1 деревній рослині, яка склала для контрольної площадки 9,2кг. За урахування питомого газопоглинання 100г сухої маси на м² (для сосни звичайної відповідно 10,5м²) розраховували ефективність газозуловлювання для *Pinus sylvestris* L., яка склала 0,9г на добу. Отже кількість пилу, що потенційно осаджувалась становить 677мг на 1м² хвої.

Таким чином, проведений морфометричний аналіз підтвердив погіршення стану хвойних дерев *Pinus sylvestris* L. з підвищенням рівня атмосферного забруднення за натурних досліджень. Аналогічні експертні розрахунки можливо проводити і для інших видів хвойних та листяних видів дерев-

них рослин.

Основними морфологічними ознаками ослаблення хвойних дерев, викликаного впливом кислих токсичних газів та ВМ, є зменшення приросту за діаметром; скорочення лінійного приросту центрального пагона;

відмирання як головного, так і бокових пагонів; зниження маси хвої, передчасне її жовтіння й опадання. Наявні ознаки uszkodження характерні для високих концентрацій викидів.

За хронічного типу uszkodження рослинності, обумовленого тривалим впливом низьких концентрацій токсичних газів, також спостерігається передчасна дефоліація, зменшення охвоєності крон, відмирання окремих пагонів, загибель дерев.

За невеликих рівнів аеротехногенного забруднення повітряного середовища наявні морфологічні зміни можуть і не спостерігатись. Процес ослаблення й відмирання хвої значно подовжується у часі, що знижує експресність діагностики. Отже діагностування і оцінка стану деревних рослин проводиться за комплексного анатомо-морфологічного обстеження пагонів сосни звичайної в контрастних за рівнем забруднення районах аеротехногенного впливу джерел емісії поллютантів неорганічного походження. Порівняння хвої з різних пробних площ за анатомічними особливостями проводилось шляхом виготовлення тимчасових мікропрепаратів за використання мікроскопу, фотографування. При розгляді мікропрепаратів поперечного зрізу хвої *Pinus sylvestris* L. (x120 разів) за впливу сукупного аеротехногенного забруднення SO_2 та ВМ (а) на її анатомічну будову проводять порівняння з контролем [Фіг.1, (б), де 1 - смоляні ходи; 2 - устячка; 3 - кутикула].

Виявлено, що хвоя із забрудненого району має певні відмінності. Кутикула uszkodжена, має горбисту поверхню, устячкові камери містять сторонні часточки; клітини смоляних ходів збільшені, що пов'язано з більше активним виводом токсичних речовин, які накопичуються в клітинах складчастої паренхіми; оболонки ендодерми (бар'єрна функція між внутрішньою й периферичною частинами хвої, відповідальна за селективний транспорт речовин) значно стовщені. Такі анатомо-морфологічні особливості за впливу аеротехногенних емісій сприяють накопиченню токсикантів в складчастій паренхимі хвої та евакуйовуванню їх шляхом часткової дефоліації.

Анатомічна будова хвої за аеротехногенного впливу кислих газів, ВМ та слабого рівня забруднення за своєю внутрішньою будовою не відрізняється від контролю, будова хвої дерев за середнього рівня забруднення характеризується збільшенням товщини кутикули, що свідчить про те, що анатомічні ознаки є більш стабільними у порівнянні з морфологічними ознаками, тому можуть використовуватись для фітоіндикації і оцінки стану рослин тільки в контрастних за рівнем аеротехногенного забруднення районах.

4. Проведення вегетаційного дослідження імпактних рівнів аеротехногенного забруднення SO_2 у трикратній повторюваності, використання 2-ох річних саджанців *Pinus sylvestris* L. як фітотесту аеротехногенного забруднення. Дослі-

дження проводили в камерах з регульованим режимом температури (діапазон робочих температур $+15^{\circ}C$ - $+45^{\circ}C$ за коливань не більше 2°) та вологості (діапазон вологості - 50-75% за коливань не більше 5%). Рівні оптичного опромінювання у ФАР (400-700нм) на відстані 0,3м від захисного скла - 140-280вт/м² за 5-15% нерівномірності. Концентрацію SO_2 визначали за допомогою регулятора витрачання газу. Діапазон доз - 0,1-0,2-0,3-0,5мг/м³ SO_2 . (ГДК SO_2 для людини - 0,5мг/м³). Проводили фумігацію (газацію) рослин за визначання концентрації SO_2 , що дозволило дослідити вплив як окремих факторів так і їх комплексу за вивчення співвідношення дози фітотоксиканту, реакції рослин з подальшим виявленням діапазонів негативного впливу. Період фумігації - 30хв. Початок - кінець травня, термін - 12-13 годин.

5. Дослідження та виявлення основних закономірностей змін фізіолого-біохімічних, анатомо-морфологічних показників саджанців *Pinus sylvestris* L. за відомих рівнів забруднення SO_2 , що забезпечило прояв токсичності ангідриду в системі повітря-рослина-ґрунт урахуваючи безпосередній вплив кислих газів забрудненого повітря на рослини і опосередковано через ґрунт.

6. Статистична обробка даних натурних моніторингових досліджень та модельного дослідження за використання модулів кореляційного, дисперсійного, регресійного факторного та кластерного аналізів у рамках пакета Statistica 6.0 послідовно обираються фактори, які сумісно пов'язані, позначаються характер та кількісні їх рівні, проводиться їх аналіз.

Результатом аналізу є вид функції відгуку (модель) на надлишок SO_2 , ВМ у системі "рослина-ґрунт", що дозволяє прогнозувати значення відгуків у тих станах, які не вивчалися експериментально. Встановлюють суттєві специфічні й неспецифічні лінійні та нелінійні залежності між рівнями аеротехногенного забруднення ВМ і SO_2 рослин, ґрунтів, анатомо-морфологічними та фізіолого-біохімічними показниками деревних рослин [Фіг.2]. Наприклад, за візуалізації даних, на Фіг.2 представлено графічний вираз встановленої нелінійної залежності показників рН хвої від зростаючих концентрацій SO_2 , вмісту хлорофілу ($y=5,14-4,99*x+1,54*y+1,7*x^2+3,45*xy-0,99*y^2$). Зв'язки мають нелінійний характер. Встановлено, що за збільшення концентрацій SO_2 відбувається підкислення середовища клітини, зменшення вмісту хлорофілу. Закономірність описується наступним рівнянням: $y=19,06-21,35*x-6,25*y+6,29*x^2+3,42*xy+0,54*y^2$.

Такий підхід забезпечує реалізацію можливості отримати якісні показники з кількісним значенням для любого набору факторів, що досліджуються у системі, за встановлених кількісних рівнів двох з них.

Відмітними рисами та перевагами запропонованого технічного рішення, в порівнянні з відомими способами та підходами, є наступні:

використано принцип ієрархічності рівнів організації біосистем (клітина, тканина, орган, організм) і їх індикаційні характеристики (фізіолого-біохімічні, морфологічні, анатомічні), функціональ-

ний взаємозв'язок з біокосною системою за аеротехногенного забруднення неорганічного походження;

реалізовано пошук інтегральних характеристик та урахування функціональної ролі процесів як індикаторів стану системи "повітря-рослина-ґрунт" за забруднення SO_2 ВМ, визначення тест реакції, механізму процесу, функцій на різних рівнях організації біосистем за урахування визначення кореляції варіацій даних та виявленням кількісних рівнів індикаторних показників екологічного стану системи "рослина-ґрунт", їх характеру за аеротехногенного забруднення та без його впливу на базі спостережаних прямих і зворотних зв'язків, теоретичних положень системного аналізу, анатомії, морфології і фізіології рослин, теоретичних положень екотоксикології забруднювачів, що сприяє економії часу та матеріальних ресурсів;

встановлено послідовність зміни функціонування системи "повітря-рослина-ґрунт" за встановлення ланцюга змін показників біосистеми за диференціації їх рівнів - фізіолого-біохімічні > морфологічні > анатомічні показники, як індикато-

ри процесів деградації і відновлення системи з урахуванням рівнів забруднення ґрунту, рослин і повітря;

спосіб сприяє комплексному вивченню стану системи "рослина-ґрунт", розробці експресних методів раннього виявлення аеротехногенного забруднення системи поллютантами неорганічного походження;

спосіб дозволяє провести об'єктивне діагностування, ефективну оцінку стану системи "рослина-ґрунт" за сталого сукупного впливу аеротехногенного забруднення, підвищити достовірність визначання ступеня деградації довкілля;

спосіб є придатним для всіх типів техногенне забруднених ґрунтів з різними буферними властивостями, здатністю до самоочищення, придатний для хвойних порід дерев як найбільш чутливих до аеротехногенних забруднень неорганічного походження;

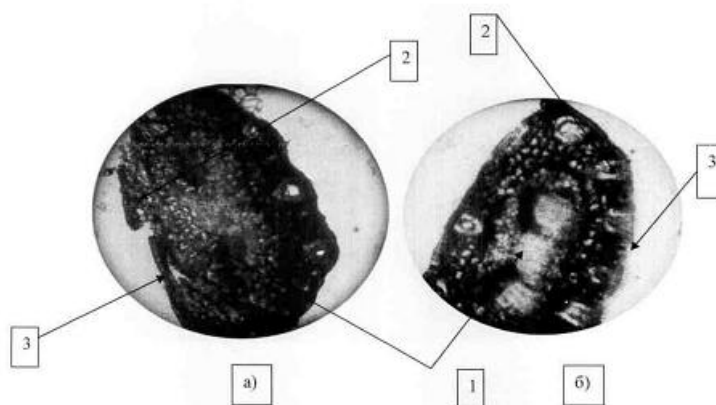
спосіб забезпечує ефективність прогнозування стану та відновлення системи "рослина-ґрунт" за аеротехногенного забруднення.

Таблиця 1

Типи ушкоджень	Анатомічні ознаки ушкоджень	Морфологічні показники хвої						Вміст ВМ у хвої, мг/кг сухої речовини			Рівень аеротехногенного забруднення SO_2 , мг/м^3
		Вага 100 сухих хвоїнок, г	Чисельність хвоїнок на 1см пагону, шт.	Лінійний приріст пагону, см	Довжина хвої, см	Довжина некротичної ділянки, % від загальної довжини	Частота появи верхівкових некротичних кінчиків хвої, % від загальної кількості хвої	Pb	Zn	Cr	
контроль	Відсутні	2,3	9	7,4	7	0	1	1,5	30	2	ГДК у повітрі - 0,02мг/м ³
гостре	за впливу високих концентрацій поллютантів, протягом декількох годин (днів) і проявляється у вигляді хлорозу з наступної некротизацією тканин хвої або всього пагона, охоплює всю хвою й виникає по всій кроні або більшій її частині, хвоя швидко висихає	1,3	5,5	4,3	4,1	36	37	>8	>90	>9	довготривала дія 0,15мг/м ³ за перевищення середньорічної 0,05 та середньодобової 0,1мг/м ³
краплинно-опікове	проявляються у вигляді крапок некрозу і більших плям, що охоплюють хвою поступово розширюються й найчастіше утворюються при високій вологості повітря, некроз починається в апікальній частині хвої	1,8	7,7	5,8	6	24	29	6	70	7	довготривала дія 0,09-0,15мг/м ³ за перевищення середньорічної 0,05 та середньодобової 0,1

Продовження таблиці 1

Типи ушкоджень	Анатомічні ознаки ушкоджень	Морфологічні показники хвої						Вміст ВМ у хвої, мг/кг сухої речовини			Рівень аеротехногенного забруднення SO ₂ , мг/м ³
		Вага 100 сухих хвоїнок, г	Чисельність хвоїнок на 1 см пагону, шт.	Лінійний приріст пагону, см	Довжина хвої, см	Довжина некротичної ділянки, % від загальної довжини	Частота появи верхівкових некротичних кінчиків хвої, % від загальної кількості хвої	Pb	Zn	Cr	
кумулятивне	розвивається при тривалій дії низьких концентрацій токсикантів, характерно стійке порушення основних процесів метаболізму, виявляється в зменшенні розмірів і маси хвої, передчасному її опаданні, зрідженості крон дерев, депресії росту, ушкодження згодом призводить до надлишкового накопичення забруднювачів в асиміляційних органах, появі хлорозів та некротичних	1,8	7,7	5,5	6	24	29	6	70	7	довготривала дія 0,09-0,15 за перевищення середньорічної 0,05 та середньодобової 0,1
приховане	ушкодження викликається низькими концентраціями токсикантів за їх постійної або періодичної дії, порушення фізіолого-біохімічних процесів - збільшення проникності мембран, зміна активності ряду ферментів, депресія фотосинтезу й т.д.), що призводить до накопичення забруднювачів, зниження росту й продуктивності рослин, втрати резистентності до впливу негативних чинників	1,95	8	6,5	6,5	9	7	>2	50	>3	>0,08



Фіг. 1

