

АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 504.064.3

ЗОНУВАННЯ ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕНЬ ЗА ПОКАЗАННЯМИ ДАТЧИКІВ
ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ҐРУНТУ

Топтун А. В., Бондаренко Ю. Ю.

Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

E-mail: annatoptun@ukr.net, julybo110976@gmail.com

Вступ. Наведено результати розроблення математичної моделі для зонування за категоріями санітарного стану деревних насаджень відповідно до результатів моніторингу датчиків для дистанційного вимірювання якісних характеристик ґрунту. Основне призначення цієї системи полягає в одержанні карти зонування, а також для отримання діаграми відсоткового розподілу дерев за категоріями санітарного стану в межах досліджуваної ділянки.

Матеріали дослідження. Розроблена математична модель входить до складу забезпечення системи моніторингу, що дозволяє проводити безконтактне (дистанційне) опитування датчиків, які розташовуються в безпосередній близькості від кореневої системи вибіркового дерева з масиву деревних насаджень. Отримані результати (температури навколишнього середовища, кислотності та солоності ґрунту) внаслідок математичного оброблення, дозволяють розраховувати розподіл деревних насаджень за категоріями санітарного стану. Математичне забезпечення також дозволяє спрогнозувати динаміку розповсюдження площ усихання деревних насаджень з часом. Це надає можливість особам, відповідальним за деревні насадження, приймати превентивні заходи із запобігання усихання.

Результати. Проведене математичне моделювання за результатами моніторингу датчиків для дистанційного вимірювання якісних характеристик ґрунту дозволило провести оперативне та високоточне зонування деревних насаджень за категоріями їх санітарного стану, а також одержати діаграми процентного розподілу дерев за цими категоріями. Порівняння результатів, отриманих у процесі математичного моделювання, з результатами, отриманими візуальним методом, дозволило встановити високу точність та швидкодію розробленого в роботі математичного методу для отримання зон розподілу дерев за санітарним станом.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система; моніторинг; санітарний стан дерев; вимірювання; датчик.

Вступ

За останні роки спостерігається збільшення площ всихання частин деревних насаджень муніципальних, садово-паркових та лісових зон. До основних причин розповсюдження даної проблеми можна віднести механічні пошкодження, зимове травмування, надлишок або нестача вологи, а також вплив шкідників та хвороб. Негативний вплив різних причин та факторів на деревні насадження зумовлює необхідність проведення їх детального аналізу.

До негативних факторів, які зумовлюють найбільший вплив на санітарний стан насаджень, належать кліматичні, екологічні та біологічні фактори. Однак, повне усунення їх на сьогодні є неможливим. Так, щорічне збільшення температури навколишнього середовища та погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунтів (кислотності та солоності) впливають на прискорення процесу розповсюдження захворювань та збільшення площ всихання. Зокрема, це призводить до виникнення

лісових пожеж та збільшення осередків шкідливих комах.

На стан лісових насаджень суттєво впливають кліматичні зміни, які спостерігаються по всьому світу. Лише за період 2019-2020 роки пожежі знищили більше ніж 20 млн. гектар, що становить близько 0,5 % від всієї площі світових лісових насаджень. Виникнення пожеж фіксувалось на території Росії в період з січня по серпень 2019 року, в Амазонії – у період з січня по серпень 2019 року та в Австралії в період з жовтня 2019 по січень 2020 року [1].

Причиною лісових пожеж, крім сухого клімату та аномально високих температур, є недотримання догляду за санітарним станом (СС) дерев, захаращеність лісових насаджень та антропогенний фактор [2]. На санітарний стан деревних насаджень також впливає погіршення складу ґрунтів (кислотності, солоності тощо), розмноження шкідників та інше [3, 4].

Так, для дослідження СС деревних насаджень

(ДН) та зонування для проведення санітарних і профілактичних заходів зазвичай використовується метод візуального спостереження [5], а також низка інших методів (бароскопічний, резистографічний та інші). Використовувані методи не дозволяють максимально оперативно й точно визначати СС деревних насаджень на великих ділянках [6 – 8]. Отже, дослідження визначення санітарного стану дерев проводились у роботах наступних вчених: Скляр В. Г., Олійник В. С., Мешкова В. Л., Анциферов А., Ciesla W. M., Keeley J. E., Ross R. та інших, які присвячені теоретично-експериментальним методам для окремих дерев.

У зв'язку з розвитком технічних засобів і вимірювальних методів, виникає необхідність розробки оперативного та високоточного математичного забезпечення для реалізації моніторингу СС деревних насаджень.

Тому метою даної роботи є розроблення та випробовування математичної моделі інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) моніторингу, що дозволяє мінімізувати вплив суб'єктивних чинників, підвищити точність, надійність та швидкість результатів моніторингу та спрогнозувати зонованість деревних насаджень за категоріями їх санітарного стану.

Основний матеріал

В основу розроблюваної моделі покладено математичну операцію апроксимації, що полягає у заміні вихідної функції $f(x)$ функцією $\varphi(x)$ з найменшим відхиленням між контрольними точками. Апроксимуючою в даному випадку є функція заміни $\varphi(x)$, отримана в результаті аналізу отриманих даних і є емпіричною.

Деяка вихідна функція $f(x)$ задається дискретно з кінцевою множиною точок x_1, x_2, \dots, x_3 . Необхідно побудувати апроксимуючу функцію, де значення множини точок x_1, x_2, \dots, x_3 знаходяться якомога ближче до значень точок функції $f(x)$.

Таким чином процес побудови емпіричної функції реалізується в два етапи.

Етап I. Проведення аналізу вихідної функції $f(x)$, яка описується певною кривою, та будується якомога ближче до сукупності базових точок. Після чого визначається, яка з відомих функцій найбільш точно описує побудовану криву.

Етап II. Проведення процесу визначення найкращих параметрів обраної емпіричної функції.

Нижче описаний безпосередній алгоритм створення математичної моделі для зонування за СС деревних насаджень за даними проведеного моніторингу [9, 10].

1. Виділяється досліджувана ділянка та відмічаються всі контрольні точки, в яких визначалися експериментальні дані. Схема розташування контрольних точок представлена на рис. 1.

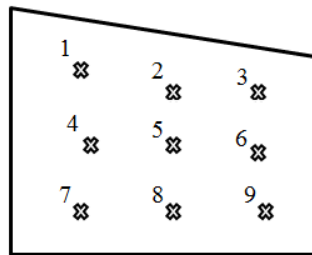


Рис. 1. Схема розташування контрольних точок

2. Для кожної окремо взятої контрольної точки, починаючи з точки 1, визначається відстань від точки 1 до наступної контрольної точки (рис. 2):

- по горизонталі: $R_{1-2}, R_{1-3}, R_{4-5}, R_{4-6}, R_{7-8}, R_{7-9}$;
- по вертикалі: $R_{1-4}, R_{1-7}, R_{2-5}, R_{2-8}, R_{3-6}, R_{3-9}$.

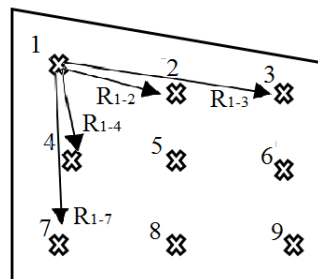


Рис. 2. Схема визначення відстані від точки 1

3. Будується матриця категорій СС (діапазон значень від 1-ї категорії (без ознак ослаблення) до 6-ї (старий сухостій) деревних насаджень (у наведеному прикладі – це матриця 3×3) у відповідних контрольних точках 1 – 9:

$$\begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ A_4 & A_5 & A_6 \\ A_7 & A_8 & A_9 \end{matrix}$$

4. Проводиться побудова вагової матриці значень для обчислення значень між вузлами матриці стану. Припускаючи, що обрана ділянка засаджувалася в один час на однаковій відстані за однакових умов і санітарного стану дерев, що висаджувалися. Розрахунки проводилися за наступною схемою (рис. 3, 1-5):

$$W_1 = \frac{X}{6}; \quad (1) \quad W_2 = \frac{(A_4 + A_5)}{12}; \quad (2)$$

$$W_3 = \frac{(A_2 + A_7)}{12}; \quad (3) \quad W_4 = \frac{(A_3 + A_6)}{12}; \quad (4)$$

$$W_5 = \frac{(A_1 + A_8)}{12}; \quad (5)$$

де «6» у знаменнику – максимальна категорія санітарного стану деревних насаджень.

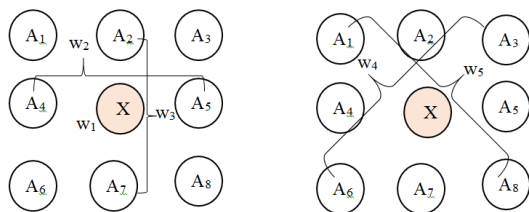


Рис. 3. Схема проведення розрахунків для побудови вагової матриці

Остаточню визначаються вагові коефіцієнти у приведені їх до рівноважного значення (з умови, що сума всіх вагових коефіцієнтів має дорівнювати одиниці (6 - 11):

$$WW = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5, \quad (6)$$

тоді:

$$W'_1 = \frac{W_1}{WW}; \quad (7) \quad W'_2 = \frac{W_2}{WW}; \quad (8)$$

$$W'_3 = \frac{W_3}{WW}; \quad (9) \quad W'_4 = \frac{W_4}{WW}; \quad (10)$$

$$W'_5 = \frac{W_5}{WW}. \quad (11)$$

Перевірка виконання умови за формулою (12):

$$W'_1 + W'_2 + W'_3 + W'_4 + W'_5 = 1. \quad (12)$$

5. Проведення апроксимації функцією $n - 1$ порядку (n – розмірність матриці категорій СС, в даному випадку $n = 3$), тоді отримуємо квадратичну вихідну функцію:

$$y(x) = a_2x^2 + a_1x + a_0. \quad (13)$$

Водночас, апроксимуються n вертикальних та n горизонтальних значень, та позначаються:

по горизонталі: $y_1(x) - y_3(x)$;

по вертикалі: $y_4(x) - y_6(x)$.

6. Знаходження середньоквадратичного відхилення ϵ апроксимованих даних від початкових даних матриці СС. Відхилення для всіх рівнянь має мати значення менше одиниці. Однак, загалом можливі випадки, коли середньоквадратичне відхилення становить більше одиниці, це може бути пов'язане з великою розбіжністю значень в контрольних точках. Так, наприклад, значення розбіжності в точках 1, 4 та 7 складають +2 та -4, відповідно.

7. Погодження значень санітарного стану в точках перетину апроксимаційних кривих відбувається шляхом усереднення цих значень.

8. Після проведення усереднення значень по горизонтальних та вертикальних вузлових точках, знаходяться значення санітарного стану в міжвузлових точках 11-14 тощо. Для цього міжвузлові ділянки розбиваються на однакові квадрати. Можливий варіант розбивки представлений на рис. 4.

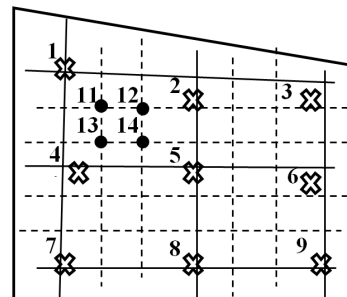


Рис. 4. Інтерпретація розбивки на квадрати 1x1 м та пошуку міжвузлових точок

9. Використовуючи вагові коефіцієнти $W_1 - W_5$ та удосконалений алгоритм АВС-маски, уточнюються значення санітарного стану в міжвузлових точках 11 - 14 тощо [11].

10. Матриця СС деревних насаджень будується на основі карти зонування досліджуваної ділянки.

11. Проведення розрахунку відсоткового співвідношення дерев залежно від категорії СС для досліджуваної ділянки.

12. Побудова діаграми розподілу дерев відповідно до їх СС. Для цього приймаємо гаусівський (нормальний) розподіл, що зумовлений впливом величезної кількості випадкових перешкод, які не пов'язані між собою, що є істиною.

Загальний алгоритм побудови математичної моделі зонування за категоріями СС ДН представлений на рис. 5.



Рис. 5. Загальний алгоритм побудови математичної моделі зонування досліджуваної ділянки за СС

Обговорення результатів зонування досліджуваної ділянки за санітарним станом

Експериментальне випробування розробленої моделі проводилось на території парку «Спортивний» (м. Черкаси) на досліджуваній ділянці площею 63 м² з концентрацією дерев різних категорій санітарного стану протягом 2018 – 2020 років.

Після проведення розрахунків отримані остаточні значення, побудована карта зонування за категоріями СС ДН та діаграма розподілу дерев за категоріями санітарного стану деревних насаджень (рис. 6 – рис. 7).

Порівняльний аналіз отриманих результатів моніторингу для визначення санітарного стану деревних насаджень між візуальним (держнагляд) та розробленим комплексним методами представлений в табл. 1.

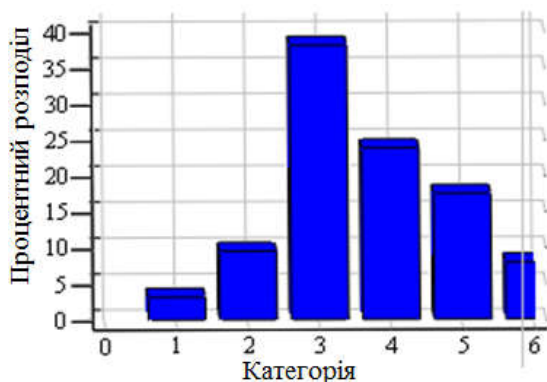


Рис. 6. Діаграма процентного розподілу дерев за категоріями СС

З табл.1 видно, що на відміну від візуального методу комплексний метод дозволяє отримувати більш точні дані щодо категорії санітарного стану деревних насаджень. Висновок про категорію СС формується на основі якісних показників ґрунту, в

якому ростуть дерева, та параметрів зовнішнього середовища. Ці показники відображають внутрішній фізіологічний стан ДН.

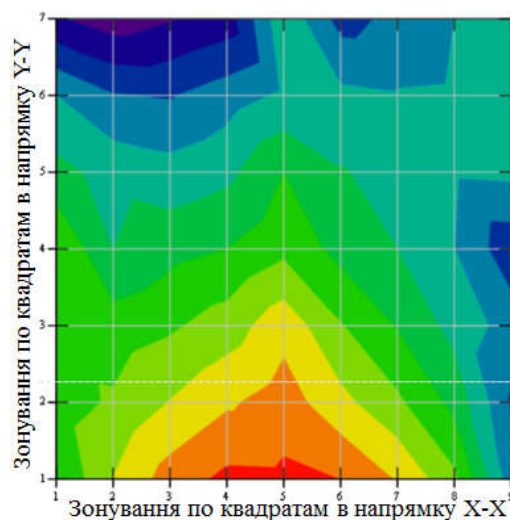


Рис. 7. Зовнішній вигляд зонування ділянки 9×7 метрів за категоріями СС ДН

В той же час, моніторинг санітарного стану для прогнозування змін СС ДН проводився в першій половині лютого 2018 – 2020 років, оскільки в цей період відсутні активні біологічні процеси, що відбуваються в сосні.

В результаті проведених досліджень спостерігалось щорічне зміння санітарного стану (зазвичай у бік погіршення), і контрольних дерев, і основної маси деревних насаджень. Так, на рис. 8 наведено графік зміни категорій санітарного стану контрольних дерев (див. рис. 1) на досліджуваних ділянках за період з 2018 по 2020 роки.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз моніторингу між візуальним та розробленим комплексним методами

Характеристика	Візуальний метод	Комплексний метод
Складність	Низька	Середня
Кваліфікація працівників	Не потребує високої кваліфікації працівників	Не потребує високої кваліфікації працівників
Інформативність	Низький рівень інформативності	Високий рівень інформативності
Результат моніторингу	Загальний висновок про санітарний стан деревних насаджень на основі візуальних ознак аварійності	Карта зонування досліджуваної ділянки по санітарному стану деревних насаджень та процентний розподіл кількості дерев

Проаналізувавши графіки (рис. 8), було встановлено наступне. Протягом двох років дослідження, санітарний стан контрольних дерев погіршувався в основному на 1-3 категорії. Водночас, слід зауважити, що, чим вищій категорії відповідав СС контрольного дерева, тим меншим змінам цього стану з часом піддавалося дерево. На думку авторів, це може бути пов'язано з тим фактом, що

у здорового дерева (з нижчою категорією СС) спостерігається пришвидшений обмін речовин та сокорух загалом. Відповідно, руйнівні зміни, що відбуваються в такому дереві, проявляються швидше. У той же час, у дерев ослаблених та пошкоджених швидкість обмінних процесів відбувається повільніше, що й призводить до більш сповільнених змін в них.

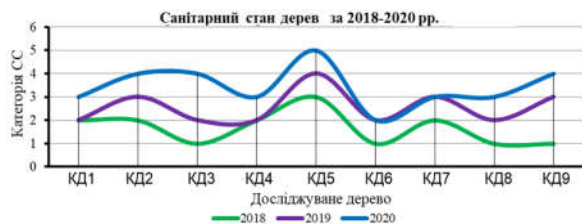


Рис. 8. Графік зміни категорій санітарного стану на базі контрольних дерев (згідно кодової назви «КД1» - «КД9» - див. рис.1) на обраній ділянці за період з 2018 по 2020 роки

Висновки

Основний результат викладеного матеріалу статті полягає в наступному: апробовані результати розробленої математичної моделі зонування за категоріями санітарного стану деревних насаджень за показаннями датчиків дистанційного вимірювання якісних показників ґрунту; представлені результати практичної реалізації розробленої моделі зонування дерев за санітарним станом; проведено порівняльний аналіз розробленого комплексного методу моніторингу з використанням інформаційно-вимірювальної системи з візуальним методом; встановлено, що розбіжність результатів, отриманих експериментально, та внаслідок розрахунку за запропонованою математичною моделлю не перевищує 4,5 %; проведено прогнозування зміни категорій санітарного стану ділянки деревних насаджень з часом, що вказує на щорічне погіршення санітарного стану таких насаджень в середньому на 1 – 3 категорії, з чого можна зробити висновок про повне висихання дерев на даній ділянці протягом 3 – 7 років.

В подальших наукових дослідженнях, авторами планується провести низку експериментів, спрямованих на підвищення точності та надійності датчиків дистанційного вимірювання якісних показників ґрунту, покращення програмного та апаратного забезпечення пристрою управління інформаційно-вимірювальною системою санітарного стану деревних насаджень шляхом застосування схематичних рішень та алгоритмів, що надасть такій системі функцій інтелектуалізації, внаслідок яких з'явиться можливість автокорекції результатів вимірювання та самонавчання програми побудови розподілу деревних насаджень за категоріями санітарного стану, чим значно зменшить зовнішні суб'єктивний та стохастичний впливи (людський чинник, непередбачувані зміни кліматичних параметрів тощо) при визначенні та прогнозуванні санітарного стану ділянок лісових та лісопаркових зон.

Література

[1] University of East Anglia. "Climate change increases the risk of wildfires confirms new review."

ScienceDaily. 14 January 2020. Available: www.sciencedaily.com/releases/2020/01/200114074046.htm

- [2] J. J. Battles, T. Robards, A. Das, K. Waring, J. K. Gilles, F. Schurr, J. LeBlanc, G. Biging, C. Simon, "Climate change impact on forest resources", *A report from: California Climate Change Center*. CEC-500-2005-193-SF. 45 p, 2006. Available: <http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-500-2005-193/CEC-500-2005-193-SF.PDF>. (July 13, 2009)
- [3] C. M. Brasier, "Climate change and tree health", *Proceedings, trees in a changing climate conference*. 2005. Available: <http://www.rhs.org.uk/NR/rdonlyres/A9B45B3B5DED-4251-B57E-6886487E8720/0/tiaccBrasierSum.pdf>.
- [4] John T. Kliejunas, Brian W. Geils, Jessie Micales Glaeser, Ellen Michaels Goheen, Paul Hennon, Mee-Sook Kim, Harry Kope, Jeff Stone, Rona Sturrock, Susan J. Frankel, "Review of literature on climate change and forest diseases of western North America", *Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-225*. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 54 p, 2009. Available: https://www.researchgate.net/publication/237757003_Review_of_Literature_on_Climate_Change_and_Forest_Diseases_of_Western_North_America
- [5] D. Johnstone, G. Moore, M. Tausz, and M. Nicolas, "The measurement of wood decay in landscape trees", *Arboriculture Urban For* 36(3):121–127, 2010.
- [6] L. Brancheriau, A. Ghodrati, P. Gallet, P. Thau-nay, and P. Lasaygues, "Application of ultrasonic tomography to characterize the mechanical state of standing trees (*Picea abies*)", *Journal of Physics: Conference series* 353, 2012. DOI:10.1088/1742-6596/353/1/012007
- [7] F. Beall, "Overview of the use of ultrasonic technologies in research on wood properties", *Wood Sci Technol* 36:197–212, 2002.
- [8] A. Catena, and G. Catena, "Overview of thermal imaging for tree assessment", *Arboricultural J* 30:259–270, 2008.
- [9] Nocedal et. al., *Numerical Optimization, Springer Series in Operations Research*. Verlag, Germany: Springer, 1999.
- [10] А. В. Пантелеев, и Т. А. Летова, *Методы оптимизации в примерах и задачах*. Москва, Россия: Высшая школа, 2005.
- [11] E. Entchev, "Modern information systems for automated management of auxiliary processes", *International scientific journal "Innovations"*, ISSUE 1, pp. 25-27, 2019.

УДК 504.064.3

А. В. Топтун, Ю. Ю. Бондаренко*Черкасский государственный технологический университет, Черкассы, Украина***ЗОНИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПО ПОКАЗАНИЯМ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЧВЫ**

В статье приводятся результаты разработки математической модели для зонирования по категориям санитарного состояния древесных насаждений согласно результатам мониторинга датчиков для дистанционного измерения качественных характеристик почвы. Основное назначение такой системы заключается в получении карты зонирования, а также для получения диаграммы процентного распределения деревьев по категориям санитарного состояния в пределах исследуемого участка. Разработанная математическая модель входит в состав обеспечения системы мониторинга, которая позволяет проводить бесконтактный (дистанционный) опрос датчиков, располагающихся в непосредственной близости от корневой системы выборных деревьев из массива древесного насаждения. Полученные результаты (температуры окружающей среды, показатели кислотности и солёности почвы), путем математической обработки, позволяют рассчитывать распределение древесных насаждений по категориям санитарного состояния. Математическое обеспечение также позволяет спрогнозировать динамику распространения площадей усыхания древесных насаждений со временем. Это дает возможность лицам, ответственным за древесные насаждения, принимать превентивные меры по предотвращению усыхания. Проведенное математическое моделирование по результатам мониторинга датчиков для дистанционного измерения качественных характеристик почвы позволило провести оперативное и высокоточное зонирование древесных насаждений по категориям их санитарного состояния, а также получить диаграммы процентного распределения деревьев по этим категориям. Сравнение результатов, полученных в процессе математического моделирования с результатами, полученными визуальным методом, позволило установить высокую точность и быстродействие разработанного в работе математического метода для получения зон распределения деревьев по санитарному состоянию.

Ключевые слова: информационно-измерительная система; мониторинг; санитарное состояние деревьев; измерение; датчик.

A. V. Toptun, Yu. Yu. Bondarenko*Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine***ZONING OF TREE PLANTS BY SENSOR INDICATIONS FOR REMOTE MEASUREMENT OF QUALITATIVE SOIL CHARACTERISTICS**

The article presents the results of development of a mathematical model for zoning by categories of sanitary condition of tree plantations in accordance with the results of monitoring sensors for remote measurement of soil quality. The main purpose of such a system is to obtain a zoning map, as well as to obtain a diagram of the percentage distribution of trees by category of sanitary condition within the study area. The developed mathematical model is a part of providing the monitoring system which allows to carry out contactless (remote) interrogation of sensors which are located in close proximity to root system of selected trees from the massif of tree plantations. The obtained results (ambient temperature, acidity and salinity of the soil), by mathematical treatment, allow to calculate the distribution of tree plantations by categories of sanitary condition. Mathematical support also allows to predict the dynamics of the distribution of areas of drying of tree plantations over time. This enables those responsible for tree plantations to take preventive measures to prevent drying out. The performed mathematical modeling based on the results of monitoring sensors for remote measurement of soil quality indicators allowed to carry out operative and high-precision zoning of tree plantations by categories of their sanitary condition, as well as to obtain diagrams of percentage distribution of trees by these categories. Comparison of the results obtained in the process of mathematical modeling with the results obtained by the visual method allowed to establish the high accuracy and speed of the mathematical method developed in the work to obtain the zones of distribution of trees by sanitary condition.

Key words: information measuring system; monitoring; sanitary condition; measurement; detector.

*Надійшла до редакції
22 травня 2020 року*

*Рецензовано
04 червня 2020 року*