

3. Бельгард А. Л. Степное лесоведение / А. Л. Бельгард. – М., 1971. – 335 с.
4. Воробьева Л. А. Химический анализ почв / Л. А. Воробьева. – М., 1998. – 217 с.
5. Высоцкий Г. Н. Защитное лесоразведение: Избр. тр. / Г. Н. Высоцкий. – К., 1983. – 208 с.
6. Высоцкий Г. Н. Избранные труды / Г. Н. Высоцкий. – М., 1960. – 435 с.
7. Грицан Ю. І. Екологічні основи перетворюючого впливу лісової рослинності на степове середовище / Ю. І. Грицан. – Д., 2000. – 296 с.
8. Долгилевич М. И. Пыльные бури и агролесомелиоративные мероприятия / М. И. Долгилевич. – М., 1978. – 160 с.
9. Зонн С. В. Функциональная структура БГЦ и биоразнообразия лесных почв в степи / С. В. Зонн, А. П. Травлеев, Н. А. Белова // Грунтознавство. – 2001. – Т. 1, № 1-2. – С. 6–14.
10. Зубець М. В. Ерозія ґрунтів – загроза їх родючості / М. В. Зубець // Голос України. – 2008. – № 32. – С. 9.
11. Можейко Г. А. Лесо-аграрные ландшафты Южной и Сухой Степи Украины / Г. А. Можейко. – Х., 2000. – 312 с.
12. Сазонов И. Н. Система мероприятий против эрозии почв / И. Н. Сазонов, М. А. Штофель, А. И. Пилипенко. – К., 1984. – 248 с.
13. Травлеев А. П. Лес как фактор почвообразования / А. П. Травлеев, Н. А. Белова // Грунтознавство. – 2008. – Т. 9, № 3-4 (13). – С. 6–26.
14. Травлєєв А. П. Новітні принципи відновлення порушених промисловістю екосистем у межах виконання кластерної інноваційної програми НАН України «Родючість ґрунтів» / А. П. Травлєєв, В. М. Зверковський, Н. А. Білова та ін. // Екологія та ноосферологія. – 2011. – Т. 22, № 3–4. – С. 28–42.

Надійшла до редколегії 05.04.2012.

УДК 630*23 (477.63)

Є. О. Тагунова

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара

ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ В ДОСЛІДЖЕННІ МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ҐРУНТІВ ЛІСОВИХ КУЛЬТУРБІОГЕОЦЕНОЗІВ

Досліджені кореляційні зв'язки між мікроелементним складом та фізико-хімічними властивостями ґрунту штучного дубового насадження – чорнозему звичайного лісопокрашеного на прикладі Марганцю. Побудована багатofакторна регресійна модель залежності умісту рухомих форм Марганцю від параметрів досліджуваного ґрунту.

Ключові слова: культурбiогеоценози, ґрунт, кореляційний аналіз, мікроелементи, Марганець.

Исследованы корреляционные связи между микроэлементным составом и физико-химическими свойствами почвы искусственного дубового насаждения – чернозема обыкновенного лесоулучшенного на примере Марганца. Построена многофакторная регрессионная модель зависимости содержания подвижных форм Марганца от параметров исследованной почвы.

Ключевые слова: культурбiогеоценоз, почва, корреляционный анализ, микроэлементы, Марганец.

Correlations between microelemental content and physicochemical properties of the soil of artificial oak afforestation – ordinary chernozem improved by forest on example

of Manganese were researched. The multifactor regression model of dependence between concentration of mobile Manganese and features of observable soil was made.

Key words: cultured biogeocenosis, soil, correlation analysis, trace elements, Manganese.

Всебічне дослідження ґрунту – динамічного біокосного утворення, що відзначається специфічними властивостями та функціями у навколишньому середовищі, набуває особливої актуальності в аспекті його розглядання як інтегрального компонента більш складної біокосної системи – лісового біогеоценозу. Відомо, що саме ґрунт підсумовує та пов'язує між собою діяльність усіх складових лісового насадження та великою мірою впливає на стан та перспективи його розвитку [10; 15].

Вагомий пертинентний вплив лісових угруповань та доведена ефективність лісомеліоративних заходів у степовій зоні [4; 5; 7; 9; 16] обумовлюють доцільність створення нових стійких лісових культурбіогеоценозів та забезпечення оптимальних умов існування наявних лісових генофондів, що підтверджується положеннями «Концепції збалансованого розвитку агроєкосистем в Україні на період до 2025 року», затвердженою наказом Міністерства аграрної політики України № 208 від 20.08.2003, та завданнями створеного постановою НАН України № 55 від 16.02.2011 Національного інноваційного кластеру «Родючість ґрунтів» [17; 18]. Як відомо, створення лісів у степових умовах, зазвичай, спряжене з певними складностями, обумовленими екологічною невідповідністю існування лісів лісорослинним умовам степу і, як зазначав О. Л. Бельгард (1986), потребує широкого, біогеоценотичного підходу. Лише комплексне вивчення компонентів штучних лісових біогеоценозів надасть змогу регулювати процеси сільватизації та гальмувати явища десільватизації [3]. У цьому світлі важливим інструментом степового лісознавства, як методологічної основи створення лісових насаджень у степу, стає аналіз різноманітних ґрунтових властивостей, винайдення взаємозв'язків між ними, їх кількісне описання та моделювання, яке має кінцевою метою забезпечення можливостей прогнозування та науково обґрунтованого керування людиною параметрами едафотопів та біогеоценозів у цілому [15].

У даній роботі увага приділяється дослідженню взаємозалежностей між фізико-хімічними властивостями ґрунту та одним з його ключових екологічних параметрів – умістом слідових елементів (мікроелементів). Метою роботи є аналіз кореляційних зв'язків між досліджуваними властивостями ґрунту та побудова математичної моделі впливу ряду факторних ознак на мікроелементний склад чорнозему звичайного лісопокрашеного на прикладі Марганцю.

Об'єкт і методи досліджень. Дослідження проводилися на території Присамарського міжнародного біосферного стаціонару ім. О. Л. Бельгарда (с. Андріївка, Новомосковський район Дніпропетровської області) в межах штучного насадження дуба звичайного на плакорі, створеного на вихідному чорноземі звичайному розораній ділянці різнотравно-бородачево-ковилевого степу. Вік насадження становить 47 років. Тип садіння рядовий. Відстань у рядах складає 0,75 м, міжряддя – 1,5 м. Ряди дуба звичайного чередуються з рядами чагарників. Зімкненість деревостану – 0,5–0,9. Зволоження атмосферне. Ґрунтові води залягають на глибині 40 м [11]. Типологічна формула насадження за О. Л. Бельгардом

$$\frac{ЧЛПСГ_2}{n / \text{тін}_4 - П} \quad \frac{10 \text{ Д.зв.}}{1 \text{ Яс.зв.} 9 \text{ Кл.т.}}$$

Об'єкт дослідження – ґрунт штучного дубового насадження – чорнозем звичайний лісопокрашений суглинистий, середньовилужений, середньогумусний, слабозмитий на лесах. Характеристика ґрунтового профілю (за [2]):

H_0 0–3 см Лісова підстилка складається з листя дуба та клена татарського. Листя клена скелетоване та напівзруйноване.

H_0	3–5	см	Напіврозкладена, трухоподібна маса, міцно з'єднана з ґрунтом. Наявний міцелій грибів, який утворює білі повстяні сплетіння.
H_1	0–10	см	Темно-сірий, гумусований, свіжий, суглинистий, пухкий, пористий. Насичений коренями трав, дерев дуба, чагарникового підліска з клена татарського, рідше – бересклета європейського.
H_2	20–37	см	Темно-сірий, гумусований, щільніше за попередній, вологий. Корененасичений крупною фракцією коренів дерев, трав'янистих та чагарникових рослин. Пухкий, пористий. Перехід – за проясненням забарвлення та збільшенням ущільнення.
H_p	45–55	см	Темно-сірий з бурим, середньосуглинистий, зернисто-пилуватої структури, злегка ущільнений. Відрізняється максимальною насиченістю коренями. Наявні новоутворення з $CaCO_3$ у вигляді псевдоміцелію.
Phk	74–87	см	Перехідний, палево-буруватий, злегка гумусований, свіжий, ущільнений, зернистої структури.
Pk	140–150	см	Материнська порода – лес карбонатний палевого кольору. На глибині 86–93 см і 115–126 см знайдені кротовини – залишки діяльності степових землеріїв.

Методологічною основою дослідження став біогеоценотичний підхід, виражений у вченні про біогеоценози В. М. Сукачова (1964, 1972), та типологічні принципи штучних лісів України О. Л. Бельгарда (1971). Визначення фізико-хімічних властивостей чорнозему звичайного лісопокрашеного проводилося за загальноприйнятими у практиці ґрунтознавства методиками [1; 8]. Установлення концентрації рухомих форм Марганцю у ґрунті здійснювалося методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії з атомізацією у пропановому полум'ї, в якості екстрагента рухомих сполук металу був використаний амонійно-ацетатний буфер, $pH = 4,8$ [12]. Статистична обробка матеріалу виконувалася із використанням пакетів MS Excel 2010 та SPSS 11.0. Прийнятий рівень значущості 0,05.

Результати та їх обговорення. З метою вивчення залежностей мікроелементного складу ґрунту штучного дубового насадження чорнозему лісопокрашеного від його фізико-хімічних властивостей у даному дослідженні була застосована комбінація факторного та кореляційного аналізу, а саме багатофакторний кореляційний аналіз.

Багатофакторний кореляційний аналіз являє собою методику дослідження факторів (параметрів системи або їх сукупностей), зв'язок яких з результативною (залежною) ознакою є неповним, імовірнісним (кореляційним). Якщо в разі повного, функціонального зв'язку із зміною аргументу відбувається відповідна зміна функції, то при кореляційному зв'язку його зміна може давати декілька значень приросту функції залежно від сполучення інших факторів, що чинять вплив на даний показник [14].

Побудова математичної моделі, яка надає можливість визначити ступінь впливу кожного з параметрів системи на певну її властивість (у даному випадку – мікроелементний склад на прикладі Марганцю) методами багатофакторного кореляційного аналізу реалізується в декілька етапів [за 6; 14]:

- 1) визначаються фактори, які чинять вплив на досліджувану ознаку, відбираються найбільш істотні для кореляційного аналізу;
- 2) здійснюється відбір інформації, необхідної для кореляційного аналізу;
- 3) розраховуються основні показники зв'язку кореляційного аналізу;
- 4) вивчається характер та моделюється зв'язок між факторами та результуючою ознакою;
- 5) дається статистична оцінка результатів аналізу.

Факторними ознаками для предмета дослідження – концентрації рухомих форм Марганцю у чорноземі звичайному лісопокрашеному – розглядалися наступні властивості ґрунту: pH водної витяжки, гідролітична кислотність, уміст гумусу, сухий залишок водної витяжки, ємність поглинання, уміст фракції фізич-

ної глини, питома маса, об'ємна маса, загальна порозність, водоміцність та твердість ґрунту.

Однією з умов застосування кореляційного аналізу є однорідність досліджуваної інформації відносно її розподілу навколо середнього рівня. Статистична оцінка вихідних даних полягала у розрахунку стандартного відхилення та коефіцієнта варіації всіх факторних ознак та результуючої ознаки. Показники розподілу результуючої ознаки наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Статистичні показники розподілу умісту рухомих форм Mn за ґрунтовим профілем чорнозему звичайного лісопокрашеного

Глибина, см	\bar{x}	s	V, %	σ^2 *
0–10	20,58	0,13	0,6	0,02
10–20	11,25	0,51	4,5	0,26
20–37	8,06	0,08	0,9	0,01
37–45	6,11	0,13	2,1	0,02
45–59	5,48	0,23	4,3	0,05
60–70	11,45	0,17	1,5	0,03
74–87	6,53	0,04	0,7	$0,19 \cdot 10^{-2}$
87–118	6,93	0,15	2,1	0,02

Примітка: * – \bar{x} – середнє арифметичне значення ознаки; s – стандартне відхилення; V, % – коефіцієнт варіації; σ^2 – дисперсія.

Окрім того, вихідна інформація повинна відповідати закону нормального (гаусівського) розподілу. Для кількісної оцінки ступеня відхилення даних від нормального розподілу використовують відношення показника асиметрії до її похибки та відношення показника ексцесу до його похибки. Показник асиметрії (A) розраховується за формулою

$$A = \frac{\sum (x - \bar{x})^3}{n\sigma^3},$$

де x – значення ознаки, \bar{x} – середнє арифметичне значення, n – обсяг вибірки. Похибка показника асиметрії (m_a)

$$m_a = \sqrt{\frac{6}{n}}.$$

Показник ексцесу (E) та його похибка (m_e) визначаються за формулами:

$$E = \frac{\sum (x - \bar{x})^4}{n\sigma^4}, \quad m_e = \sqrt{\frac{24}{n}}.$$

Якщо відношення показників асиметрії та ексцесу до їх похибок менше 3, вважають, що асиметрія та ексцес не мають істотного значення та досліджувані ознаки підлягають закону нормального розподілу [14]. Розрахунок показників асиметрії, ексцесу та їх похибок підтвердив нормальність розподілу значень досліджуваних факторних ознак.

Для встановлення форми та ступеня залежності між фізико-хімічними властивостями чорнозему звичайного лісопокрашеного та умістом рухомих форм Марганцю в ньому були розраховані парні коефіцієнти кореляції Пірсона. Достовірність отриманих коефіцієнтів визначалася за допомогою z-перетворення Фішера.

Виявлено, що вміст рухомих сполук Марганцю має сильний зворотній кореляційний зв'язок із рН водної витяжки чорнозему звичайного лісопокрашеного (парний коефіцієнт кореляції $r = -0,75$) та сильний прямий зв'язок із загальною порозністю ґрунту ($r = 0,78$). Середній за силою прямий кореляційний

зв'язок спостерігається між концентрацією рухомого Марганцю та умістом гумусу в ґрунті штучного дубового насадження ($r = 0,68$), сухим залишком його водної витяжки ($r = 0,52$) та водоміцністю ($r = 0,50$), середній непрямої – із твердістю ($r = -0,67$), об'ємною масою ($r = -0,65$) та питомою масою ($r = -0,59$) ґрунту. Кореляційний зв'язок між умістом рухомого Марганцю та гідролітичною кислотністю ґрунту – негативний помірний ($r = -0,44$), з умістом фракції фізичної глини – позитивний помірний ($r = 0,30$).

З метою виявлення пріоритетної властивості чорнозему звичайного лісопокрашеного, що чинить вплив на вміст рухомих сполук Марганцю у ньому, розраховувалися частинні коефіцієнти кореляції із почерговим виключенням факторних ознак, що охарактеризувалися найвищими парними коефіцієнтами кореляції з результуючою ознакою. Формула для обчислення частинного коефіцієнта кореляції [13]

$$r_{xy.z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}}$$

де r_{xy} , r_{xz} та r_{yz} – відповідні парні коефіцієнти кореляції між досліджуваними ознаками, z – ознака, вплив якої виключається.

Результати обчислення частинних коефіцієнтів кореляції показали, що пріоритетним з досліджуваних факторів умісту рухомого Марганцю у чорноземі звичайному лісопокрашеному є рН його водної витяжки.

Після відбору факторів та якісної оцінки їх зв'язків із результуючою ознакою важливим завданням багатофакторного кореляційного аналізу є побудова математичної моделі, яка описує ці зв'язки аналітичною залежністю та надає можливість розрахувати кількісне значення залежної ознаки після зміни значень незалежних.

Зв'язок факторних ознак із результуючою може носити прямолінійний характер, тоді для запису цих залежностей використовують лінійну функцію Y_x з коефіцієнтами b_i [14]

$$Y_x = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n.$$

Якщо зв'язок між ознаками носить криволінійний характер застосовують степеневу функцію

$$Y_x = b_0 \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot \dots \cdot x_n^{b_n},$$

або логарифмічну функцію для його опису

$$\lg Y_x = b_0 + b_1 \lg x_1 + b_2 \lg x_2 + \dots + b_n \lg x_n.$$

У межах даного дослідження для побудови математичної моделі залежності між фізико-хімічними властивостями чорнозему та умістом рухомих форм Марганцю в ньому буде використана лінійна багатофакторна регресія, беручи до уваги той факт, що для локального аналізу зв'язків між ознаками нелінійна залежність може бути апроксимована лінійною та лінійні моделі, як зазначає С. В. Чернишенко: «можуть виявитися цілком адекватними у деяких вузьких межах екологічних параметрів» [19].

Математична модель залежності умісту рухомого Марганцю у чорноземі звичайному лісопокрашеному від його фізико-хімічних характеристик, які відзначилися найвищими коефіцієнтами кореляції, має вигляд:

$$Y_x = -312,68 + 4,83x_1 + 11,21x_2 - 0,22x_3,$$

де Y_x – уміст рухомих форм Марганцю в ґрунті, x_1 – загальна порозність ґрунту, x_2 – рН водної витяжки, x_3 – відсотковий уміст гумусу.

Для встановлення правомірності використання отриманого рівняння залежностей між досліджуваними параметрами здійснюється статистичне оцінювання надійності показників зв'язку шляхом обчислення критерію Фішера (F-відношення) та середньої похибки апроксимації.

Порівняння даних умісту рухомих форм Марганцю, отриманих шляхом атомно-абсорбційного визначення та аналітично розрахованих наведено у табл. 2.

Таблиця 2

**Порівняння результатів інструментального
та розрахункового визначення умісту
рухомого Марганцю у чорноземі звичайному лісопокрашеному**

Глибина, см	Mn, мг/кг	P, % (x_1)	pH (x_2)	hum, % (x_3)	Y_x^*
0–10	28,29	54,3	6,88	4,42	25,74
10–33	11,25	50,9	7,27	3,93	13,80
33–55	6,55	49,0	7,79	3,45	10,56
55–70	11,45	48,8	7,82	3,00	10,03
70–118	6,73	46,9	8,00	2,48	2,98

Примітка: * – Mn, мг/кг – концентрація рухомих форм Марганцю у ґрунті, визначена за допомогою атомно-абсорбційного аналізу; P, % – загальна порозність ґрунту; pH – кислотність водної витяжки ґрунту; hum, % – уміст гумусу; Y_x – концентрація рухомих форм Марганцю у ґрунті, мг/кг, розрахована за математичною моделлю.

Перевірка достовірності відмінностей між двома вибірками значень умісту рухомого Марганцю у чорноземі звичайному лісопокрашеному за допомогою критеріїв Стюдента та Фішера підтвердила відсутність статистично значущої несхожості між ними, що доводить адекватність отриманої математичної моделі.

Висновки. Важливим інструментом степового лісознавства є всебічне вивчення та моделювання властивостей едафотопу як підсумкового компонента лісового культурбіогеоценозу. Побудова адекватних математичних моделей взаємозалежностей між різноманітними ґрунтовими характеристиками надає перспективну можливість прогнозування та науково обґрунтованого керування параметрами як едафотопу, так і лісового насадження в цілому.

Одним з вагомих екологічних параметрів ґрунту є його мікроелементний склад, у комплексному вивченні якого доцільним є використання методів багатофакторного кореляційного аналізу. Проведено дослідження взаємозв'язків між умістом рухомих форм Марганцю та фізико-хімічними властивостями ґрунту штучного дубового насадження на плакорі – чорнозему звичайного лісопокрашеного. Установлено, що найбільша кореляція з умістом досліджуваного мікроелементу характерна для pH водної витяжки ґрунту, загальної порозності ґрунту та умісту гумусу в ньому. Розрахунок частинних коефіцієнтів кореляції дозволив виділити pH водної витяжки як пріоритетну факторну ознаку в умісті рухомого Марганцю у чорноземі звичайному лісопокрашеному. Дослідження статистичних параметрів вихідної інформації дозволило побудувати багатофакторну лінійну модель зв'язку між властивостями ґрунту та концентрацією рухомих сполук Марганцю у ньому. Адекватність отриманої моделі доведена методами варіаційної статистики.

Одержані результати можуть бути залучені до прогнозування стану едафотопів лісових культурбіогеоценозів степової зони та використані під час створення нових штучних лісових насаджень у регіоні дослідження.

Бібліографічні посилання

1. **Аринушкина Е. В.** Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М., 1970. – 487 с.
2. **Белова Н. А.** Естественные леса и степные почвы / Н. А. Белова, А. П. Травлев. – Д., 1999. – 348 с.
3. **Бельгард А. Л.** Искусственный лес в степи в биогеоценологическом освещении / А. Л. Бельгард // Вопросы степного лесоведения и лесной рекультивации земель. – 1986. – С. 21–26.
4. **Бобко А. М.** Конвенція ООН про запобігання спустелюванню, досвід і шляхи вдосконалення заходів з лісомеліорації в Україні / А. М. Бобко // Екологія та ноосферологія. – 1998. – Т. 4, № 1–2. – С. 24–33.
5. **Грицан Ю. И.** Экоклиматические условия и почвообразовательные процессы в лесных экосистемах степи / Ю. И. Грицан, В. Н. Зверковский // Екологія та ноосферологія. – 2002. – Т. 3, № 3–4. – С. 45–51.
6. **Евсеев В. В.** Использование многофакторного корреляционного анализа при управлении рисками проектов разработки сложных технических систем / В. В. Евсеев, Ю. В. Шовкопляс // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2010. – № 48. – С. 203–210.
7. **Зверковский В. Н.** Фактор влагообеспеченности искусственных лесных насаждений на рекультивируемых шахтных отвалах Западного Донбассе / В. Н. Зверковский // Антропогенные воздействия на лесные экосистемы степной зоны. – Д., 1990. – С. 70–74.
8. **Зырин Н. Г.** Физико-химические методы исследования почв / Н. Г. Зырин, Д. С. Орлов. – М., 1964. – 382 с.
9. **Калініченко А. В.** Оптимальне використання земельних ресурсів – надійний засіб досягнення збалансованості агроєкосистем / А. В. Калініченко // Агроєкологічний журнал. – 2005, № 1. – С. 15–22.
10. **Карпачевский Л. О.** Лес и лесные почвы / Л. О. Карпачевский. – М., 1981. – 264 с.
11. **Котович А. В.** Лесная гидрология на Присамарье / А. В. Котович // Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель. – 2004. – Вип. 8 (34). – С. 72–82.
12. **Обухов А. И.** Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях / А. И. Обухов, И. О. Плеханова. – М., 1991. – 184 с.
13. **Рокицкий П. Ф.** Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск, 1973. – 320 с.
14. **Савицкая Г. В.** Анализ хозяйственной деятельности предприятия / Г. В. Савицкая. – Минск, 2000. – 688 с.
15. **Смагин А. В.** Методологические подходы к построению математических моделей структурно-функциональной организации почв / А. В. Смагин // Доклады по экологическому почвоведению. – 2007. – Вып. 6, № 2. – С. 17–62.
16. **Травлеев А. П.** Вопросы генезиса и свойств почв лесных биогеоценозов Присамарья / А. П. Травлеев // Вопр. степного лесоведения. – 1972. – Вып. 2. – С. 8–12.
17. **Травлєєв А. П.** Новітні принципи відновлення порушених промисловістю екосистем у межах виконання кластерної інноваційної програми НАН України «Родючість ґрунтів» / А. П. Травлєєв, В. М. Зверковський, Н. А. Білова та ін. // Екологія та ноосферологія. – 2011. – Т. 22, № 3–4. – С. 28–42.
18. **Фурдичко О. І.** Лісове господарство України: Перспективи розвитку при формуванні сталих агроєкосистем / О. І. Фурдичко // Агроєкологічний журнал. – 2003. – № 3. – С. 3–10.
19. **Чернышенко С. В.** Нелинейные методы анализа динамики лесных биогеоценозов / С. В. Чернышенко. – Днепропетровск, 2005. – 512 с.

Надійшла до редколегії 05.03.2012.