

## Principal component analysis of technosols ecological properties

K.P. Maslikova

*Dnipro State Agrarian and Economic University  
Sergey Yefremov Str. 25, Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: [mkaterina@ukr.net](mailto:mkaterina@ukr.net)*

**Received: 23.02.2018. Accepted: 02.04.2018**

The article shows the agreed dynamic variation of physical properties and phytoindication assessments of the ecological regimes of the Nikopol manganese ore basin technosols by means of principal components analysis. The study was conducted at Dnipro State Agricultural University Research Center in city Pokrov during 2012-2014. Data on the aggregate structure was processed by composite analysis. The application of the log transformation of aggregate soil particle distribution data allowed to obtain new non-correlated variables that are able to reproduce the matrix of distances between sampling points that are most correlated with other environmental properties of technosols. Results of principal components analysis allowed to reproduce initial variables by seven principal component with eigenvalues dominated one. These components describe 72.4% variation feature space. The principal components are the integral variables that are sensitive to the dynamics of agreed environmental properties of technosols and have a differential ability. Each of the principal component indicates features of technosols types or a particular group. By their nature, certain selected features directly characterize the soil in the context of its importance as a habitat of living organisms. Also important group of signs are phytoindication assessment of the ecological regimes. Variation of edaphic characteristics as well as environmental assessments are based on the properties of vegetation, synchronized with each other. Such synchronization enables a more profound interpretation of environmental indicators that have independent significance.

**Key words:** physical properties; composite variables; principal components analysis; phytoindication; ecological regimes

---

## Аналіз головних компонент екологічних характеристик техноземів

К.П. Маслікова

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
Вул. С. Єфремова 25, м. Дніпро 49600, Україна, e-mail: [mkaterina@ukr.net](mailto:mkaterina@ukr.net)*

У роботі показана погоджена динаміка варіювання фізичних властивостей та фітоіндикаційних оцінок екологічних режимів техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну засобами аналізу головних компонент. Дослідження проведене в науково-дослідному стаціонарі Дніпровського державного аграрного університету в м. Покров у період 2012–2014 рр. Дані по агрегатній структурі техноземів попередньо підвергли композитному аналізу. Проведена лог-трансформація даних по агрегатному стану техноземів дозволила одержати нескорельовані нові змінні, які здатні відтворити матрицю відстаней між точками відбору проб, які найбільшою мірою скорельована з іншими екологічними властивостями техноземів. Результати аналізу головних компонент дозволили описати первинні показники техноземів за допомогою сімох головних компонент, власні числа яких переважають одиницю. Ці компоненти описують 72,4 % варіювання простору ознак. Головні компоненти представляють собою інтегральні змінні, які чутливі до погодженої динаміки екологічних властивостей техноземів та володіють диференціальною здатністю. Кожна з головних компонент вказує на особливості окремого технозему або їх певної групи. За своєю природою деякі обрані ознаки безпосередньо характеризують ґрунт у контексті його значення як середовища існування живих організмів. Також, дуже важливу групу ознак представляють фітоіндикаційні оцінки екологічних режимів техноземів. Варіювання як едафічних характеристик, так і екологічних оцінок, які базуються на властивостях рослинного покриву, між собою синхронізовані. Така синхронізація дозволяє зробити більш глибокі екологічні інтерпретації показників, які мають самостійне значення.

**Ключові слова:** фізичні властивості; композитні змінні; аналіз головних компонент; фітоіндикація; екологічні режими

---

## Вступ

У вік науково-технічного прогресу ґрунт, як і біосфера в цілому, перетворилися із систем, що контролюються природними чинниками, в системи, які функціонують під сильним впливом антропогенних факторів (Demidov et al., 2013). Особливо великий негативний вплив на навколишнє середовище і, насамперед, на земельні ресурси, спричиняється гірничодобувною промисловістю. У районах з високою концентрацією підприємств гірничодобувної промисловості відбувається порушення природних ландшафтів і на значних територіях утворюються промислові відвали, на яких відсутній родючий шар ґрунту. Видобування корисних копалин, особливо відкритим способом, призвело до утворення великих площ порушених земель (Zhukov et al., 2017).

Концепція ноосфери академіка В. І. Вернадського з'явилась у зв'язку з оцінкою ролі людини в еволюції біосфери та усвідомленням взаємодії природи і суспільства, відповідно до якої розумна людська діяльність стає головним, визначаючим чинником розвитку (Vernadsky, 1923). Діяльність людини багато в чому нанесла шкоду довкіллю, тому одне із найважливіших завдань екології – це вивчення регуляторних процесів у біосфері, а також створення засад раціонального використання природних ресурсів. Широкі можливості сучасної науки і техніки висунули на передній план і нові галузі знань. Так, наприклад, С. В. Зонн та А. П. Травлев (1989) запропонували сучасний напрямок у ґрунтознавстві – «техногенне ґрунтознавство», що покликане розробляти проблеми створення штучних ґрунтів на територіях, що піддаються корінним порушенням чи гранично шкідливим забрудненням, як субстратів, які можуть забезпечувати людство ресурсами харчування (Zonn, Travleev, 1989).

Взаємодія біотичних та абіотичних компонентів ґрунтів призводить до формування ґрунтового профілю, визначає родючість ґрунту, різні його властивості, в тому числі й екологічні функції (Zhukov, Shatalin, 2016). Техноземи є новоствореними ґрунтоподібними тілами. Актуальною проблемою є моніторинг стану ґрунту в процесі рекультивації, його фізичних та водно-фізичних властивостей, які, перш за все, характеризують ступінь окультурення та екологічний стан ґрунтового покриву. Особливості процесу ґрунтоутворення в техногенних ландшафтах діагностуються за змінами водно-фізичних і фізичних властивостей (Zhukov, 2015a). Ці динамічні показники залежать від генезису, а також технологічних операцій як на технічному, так і на біологічному етапах рекультивації (Zhukov, Zadorozhnaia, 2016). Фізичні властивості полідисперсних гірських порід (шпаруватість, щільність, твердість та ін.) визначають динаміку формування екологічних функцій техноземів у процесі сільськогосподарської рекультивації земель (Maslikova et al., 2016). Показано, що конструкція ґрунтоподібного тіла у нуль-момент свого існування визначає динаміку та траєкторію ґрунтоутворного процесу. Характер підстилаючої породи техноземів, яка знаходиться на певній глибині, значно впливає на перебіг процесів ґрунтоутворення у межах усього ґрунтового профілю. Підстилаюча порода регулює процеси контакту техноземів з навколишнім середовищем, так як визначає інтенсивність профільної міграції вологи та розчинених солей. Наявність водостійких агрегатів біогенного походження згладжує варіювання щільності глинистих ґрунтів, які виникають внаслідок процесів набухання та усадки, що дозволяє підтримувати на стабільному рівні структуру їх порового простору. Як наслідок, ґрунти після фітомеліоративної фітозміни набувають таких особливостей, як зменшений рівень інфільтрації, але збільшений рівень фільтрації (Maslikova, 2018).

Тому актуальною науковою та практичною проблемою є дослідження взаємозв'язку фізичних та біотичних властивостей техноземів. Також актуальність досліджень полягає у необхідності створення об'єктивних екологічних критеріїв оцінки стану та динаміки рекультоземів і прогнозування їх розвитку на основі інтегральних показників – індикаційних та діагностичних властивостей фіто- та зооценозу.

Метою роботи є встановити погоджену динаміку варіювання фізичних властивостей та фітоіндикаційних оцінок екологічних режимів техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну засобами аналізу головних компонент.

## Матеріали та методи дослідження

Дослідження проведене в науково-дослідному стаціонарі Дніпровського державного аграрного університету в м. Покров у період 2012–2014 рр. Полігони закладені у межах чотирьох типів техноземів: педоземи, дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках, сіро-зелених глинах та червоно-бурих глинах. Полігон складається з 15 трансект, а кожна трансекта складена з 7 пробних майданчиків. Відстань між рядами в полігоні становить 3 м. Кожний майданчик представляє собою квадрат розміром 3×3 м. У межах кожного майданчика було проведено геоботанічне описання рослинності, а у геометричному центрі пробного майданчика відібрані проби ґрунту та зроблені вимірювання фізичних властивостей ґрунту.

На основі геоботанічних описів проведено фітоіндикацію екологічних режимів (Zhukov, 2015b; Zhukov et al., 2016a).

Я. П. Дідух (2011, 2012) виділяє едафічні та кліматичні фітоіндикаційні шкали. До едафічних належать показник гідроморф (Hd), змінність зволоження (fH), аерація (Ae), кислотний режим (Rc), сольовий режим (Sl), вміст карбонатних солей (Ca), вміст у ґрунті засвоєваних форм азоту (Nt). До кліматичних належать шкали за чотирма факторами: терморезим (Tm), омброрезим (Om), кріорезим (Cr) і континентальність клімату (Kn). Крім зазначених, виділяється ще шкала освітлення (Lc), яку можна охарактеризувати як мікрокліматичну шкалу.

Можна припустити, що едафічні шкали та шкала освітлення будуть чутливі до варіабельності властивостей ґрунту на рівні окремої точки, що може бути основою для застосування фітоіндикаційних шкал для великомасштабного картографування. Теплові властивості ґрунтів індикуються шкалою терморезиму, а гідротермічні – шкалою омброрезима.

Огляд методів дослідження фізичних властивостей техноземів наведено у нашій монографії (Zhukov et al., 2017). Техніка композитного аналізу даних може бути застосована для інтеграції розподілу агрегатів у синтетичні індекси, які могли б нести інформацію про тонкі особливості структури (Zhukov et al., 2015). Агрегатні фракції є композитами, тому що в сумі становлять 100 %. Завжди як мінімум одна фракція є надлишковою, яка викликає появу помилкової кореляції. Поінформованість про проблему статистичного аналізу композитних даних сходиться до статті Карла Пірсона (Pearson, 1897), назва якої починається словами: «Про форми помилкової кореляції...». Тривіальним випадком є двох-компонентна система, у якій коефіцієнт кореляції між компонентами, що змінюються, завжди буде точно  $-1$ , тому що будь-яка зміна в одному компоненті тягне точно таку ж зміну в іншому компоненті (Thomas, Aitchison, 2006).

Тому що некорельовані пропорції не є обов'язково незалежними через надмірність композитної системи, тому кореляції між пропорціями дуже складно інтерпретувати (Butler et al., 2005). Крім того, композитні дані не підкоряються нормальному розподілу за визначенням, так як перебувають у діапазоні від 0 до 100 %, тоді як випадково розподілена за нормальним законом величина гіпотетично може знаходитись від  $-\infty$  до  $+\infty$  (Parent et al., 2011). Нормальний закон розподілу Гауса не може бути застосований до розподілу композитних змінних, тому що не можливе негативне значення фракції, або частки, що перевищують 100 %. У результаті, статистичні процедури, які засновані на припущенні про нормальний закон розподілу випадкової величини, такі як регресійний, кореляційний, одиночні та множинний статистичний аналізи, у більшості випадків призводять до помилкових висновків (Butler et al., 2005).

Логарифмічні відносини, які можуть приймати будь-які реальні значення, здатні відобразити композитні дані у реальний евклідовий простір, у якому можуть застосовуватися Гаусові закони (Aitchison, 1986). Застосування спеціальної послідовної бінарної розбивки (*sequential binary partition* – SBP) D фракцій з ортонормальним базисом дає можливість ізометричному лог-відношенню (*isometric log ratio* – ilr) композитних змінних відобразити процес агрегації та фрагментації в D-1 вимірах без втрати інформації (Egozcue, Pawlowsky-Glahn, 2005). У дослідженнях агрегатної структури ґрунтів послідовна бінарна розбивка повинна відбивати ключові біологічні, хімічні та фізичні властивості, які визначають формування агрегатів (Parent et al., 2011). Ізометрична лог-трансформація (ilr) є спеціальним випадком лог-трансформації без втрати вихідної інформації в силу її ортогональності (Egozcue, Pawlowsky-Glahn, 2005; Zhukov et al., 2015).

Необхідно відзначити, що існує декілька базисів для ортогональної лог-трансформації даних. Формально, усі способи трансформації математично рівноцінні. Для вибору оптимального способу трансформації необхідно порівняти результати трансформації із зовнішнім маркером якості перетворення. Кожне експериментальне вимірювання є точкою у просторі ознак. Очевидно, що найкращим у екологічному сенсі буде така трансформація композитних змінних, яка дасть найбільш подібну матрицю відстаней між експериментальними точками до матриці відстаней, яка може бути обрахована у просторі інших екологічних властивостей, які вимірювані у цих точках. Таким чином, після трансформації композитних даних обчислюється матриця відстаней між точками за новими ознаками. Також обчислюється матриця відстаней між цими ж точками за іншими незалежними екологічними ознаками. Дві матриці порівнюються за допомогою тесту Мантеля. Той спосіб трансформації, який дає найвищу кореляцію між парою матриць і може бути обраний для подальшого аналізу (Zhukov et al., 2015).

Як базиси трансформації розглянуті наступні методи: базовий, балансовий, оптимальний, PVBclus (генерує кластерний аналіз Варда частин композитних змінних, використовуючи як дистанцію між частинами матрицю варіацій), PVBtaxvar (розбиває всі частини композитних змінних на дві групи після аналізу головних компонентів – ті, які характеризуються позитивними вагами та ті, які характеризуються негативними вагами; потім перевіряється кожний елемент, чи буде збільшуватися варіація результуючого балансу при його видаленні; вибирається рішення з найбільшим балансом), Pbangprox (кутова близькість до головних компонентів) (Pawlowsky-Glahn et al., 2011).

Аналіз композитних змінних виконаний за допомогою пакету *compositions* (Gerald et al., 2014) у середовищі для статистичних розрахунків R (R Core Team, 2017).

## Результати та обговорення

Важливим аспектом екологічних умов техноземів є агрегатна структура. Дані за три роки досліджень (2012–2014 рр.) по чотирьом типам техноземів (педоземи, дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах, червоно-бурих глинах та лесоподібних суглинках – по 105 проб кожного року на кожному типі техноземів) були зібрані та разом проаналізовані. У кожній точці обліку були враховані фізичні властивості техноземів, зроблені геоботанічні описання та відібрані ґрунтово-зоологічні проби.

Для застосування у якості предикторів композитна зміна, якою є дані про агрегатний склад, попередньо повинна бути трансформована. Трансформація необхідна для запобігання помилкової кореляції, яка завжди формально існує між композитними змінними. Ця кореляція робить первинні змінні мультиколінеарними. Застосування у якості предикторів у регресійних моделях передбачає уникнення мультиколінеарності між предикторами. Крім того, багатоваріантність процедур лог-трансформації та вибір за певним критерієм одного з варіантів дещо покращує наше розуміння процесів утворення агрегатів.

Певною мірою коефіцієнт структурності є дещо наївним засобом первинної трансформації відомостей про агрегатний склад ґрунтів. Слід наголосити, що шаблонні індекси, які показали свою результативність для природних ґрунтів та агроземів, не можуть бути автоматично застосовані для характеристики екологічних умов техноземів.

На основі тесту Мантеля можна зробити висновок, що лог-трансформація показників агрегатної структури на основі оптимального алгоритму можуть дати змінні, які найбільшою мірою скорельовані з іншими екологічними властивостями техноземів (табл. 1).

**Таблиця 1.** Тест Мантеля між матрицею, отриманою після лог-трансформації композитних даних по агрегатному складу ґрунту та матрицями морфометричних відстаней кукурудзи та матрицями едафічних властивостей

Базиси трансформації	Верхній квантіль пермутацій (нуль-модель)				Тест Мантеля	<i>p</i> -рівень
	90 %	95 %	97,5 %	99%		
Базовий	0,0153	0,0190	0,0218	0,0250	0,14	0,001
Балансовий	0,0154	0,0199	0,0253	0,0277	0,15	0,001
Оптимальний	0,0151	0,0199	0,0241	0,0281	<b>0,17</b>	0,001
Pbhclust	0,0157	0,0205	0,0248	0,0308	0,12	0,001
Pbmaxvar	0,0163	0,0209	0,0247	0,0300	0,12	0,001
Pbangprox	0,0165	0,0213	0,0254	0,0279	0,13	0,001

**Примітка** – напівжирним показаний найбільший коефіцієнт кореляції

Лог-трансформовані змінні структури володіють необхідними статистичними властивостями для того, щоб їх можна було застосовувати у параметричних статистичних процедурах. Ці змінні взаємно не корельовані, а також їх розподіл підкоряється нормальному закону. Для їх статистичного застосування ці змінні необхідно змістовно інтерпретувати. Кореляція показників вмісту агрегатних фракцій та лог-трансформованих даних дозволяє зробити уявлення про їх зміст (табл. 2).

З вісьмох композитних змінних, які характеризують вміст агрегатних фракцій, після лог-трансформації одержано сім нових змінних.

Змінна *llr1* протиставляє варіювання макроагрегатів та агрегатів розміром 0,25–0,5 мм з одного боку варіюванню інших агрегатів, які за розміром знаходяться між вказаних. Змінна *llr2* чутлива до погодженої динаміки вмісту таких фракцій, як 0,25–0,5, 7–10 та >10 мм з одного боку та протилежній динаміці інших фракцій. також подібна до змінної *llr5*, але відмінність полягає у внесках фракцій.

**Таблиця 2.** Матриця кореляцій Спірмена лог-трансформованих змінних за оптимальним алгоритмом та агрегатних фракцій (наведені тільки статистично вірогідні коефіцієнти для  $p < 0.05$ )

Змінні, розмір фракцій в мм	Лог-трансформовані змінні						
	<i>llr1</i>	<i>llr2</i>	<i>llr3</i>	<i>llr4</i>	<i>llr5</i>	<i>llr6</i>	<i>llr7</i>
>10	-0.85	0.93	0.87	0.61	0.20	-	0.26
7–10	0.17	0.46	0.61	0.61	0.29	0.35	0.39
5–7	0.37	-0.37	0.06	0.37	0.28	0.39	0.15
3–5	0.47	-0.49	-0.50	0.17	0.44	0.57	0.23
1–3	0.51	-0.62	-0.66	-0.60	-	0.18	-
0,5–1	0.11	-0.12	-0.14	-0.39	-0.85	-0.37	-0.21
0,25–0,5	-0.32	0.21	0.14	-0.30	-0.69	-0.90	-0.39
<0,25	-	-0.22	-0.23	-0.49	-0.66	-0.74	-0.97

Змінна *llr3* від попередньої змінної відрізняється протилежною мінливістю фракції 5–7 мм. Змінна *llr4* відрізняє протилежну динаміку фракцій розміром більше або менше 1–3 мм. Для змінної *llr5* такою межею є фракції розміром 0,5–1 мм. Змінна *llr6* подібна до попередньої, але вона не чутлива до варіювання фракції >10 мм. Змінна *llr7* вказує на протилежну динаміку варіювання агрегатних фракцій розміром від 3 до 10 мм та більше з одного боку та від 0,5 мм та менше – з іншого.

Таким чином, проведена лог-трансформація даних по агрегатному стану техноземів дозволила одержати нескорельовані нові змінні, які здатні відтворити матрицю відстаней між точками відбору проб, які найбільшою мірою скорельована з іншими екологічними властивостями техноземів.

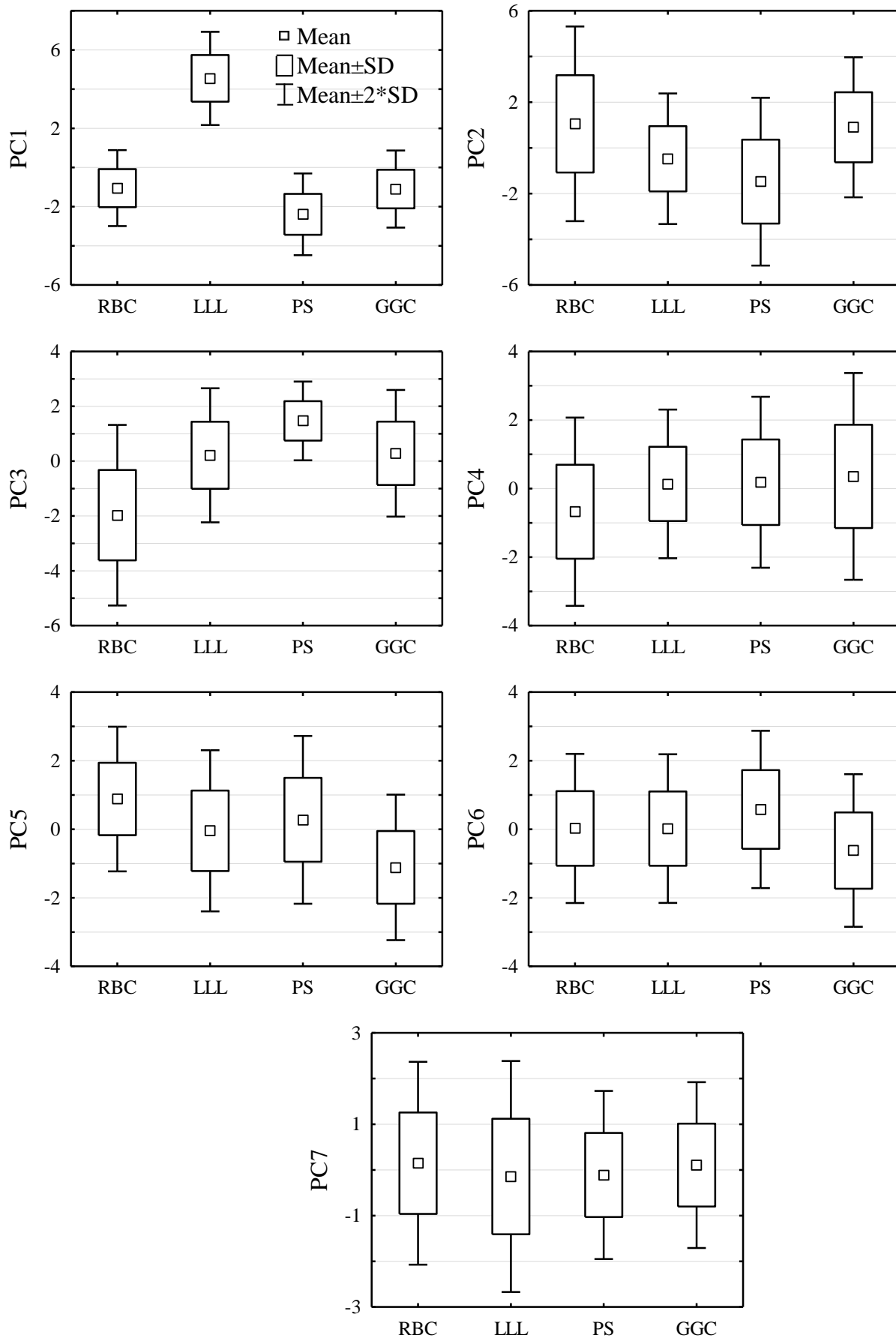
Запропонований алгоритм надає можливості свого роду налаштувати показники агрегатного складу на режим, найбільш чутливий до екологічного оточення.

Сукупність змінних, які описують екологічні властивості техноземів, піддали аналізу головних компонент для того, щоб знизити розмірність простору ознак та визначити основні напрямки погодженого варіювання властивостей (табл. 3).

Таблиця 3. Аналіз головних компонент варіювання екологічних властивостей техноземів

Властивість	Головні компоненти						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
<i>Електрична провідність техноземів</i>							
EC	-0.45	-0.11	0.33	0.27	0.13	0.17	0.06
<i>Лог-трансформовані змінні агрегатного складу</i>							
llr_1	0.32	-0.23	0.59	0.19	-0.47	-	-0.16
llr_2	-0.43	0.48	-0.52	-0.08	0.41	-	0.11
llr_3	-0.37	0.62	-0.43	-	0.36	-0.10	0.11
llr_4	-0.42	0.69	-0.08	0.41	0.19	-0.11	-
llr_5	-0.49	0.41	0.34	0.52	0.15	-	-
llr_6	-0.34	0.45	0.48	0.54	-0.17	-0.09	-
llr_7	-0.63	0.42	0.18	0.33	-0.23	-0.18	-
<i>Твердість ґрунту на глибині, см</i>							
0-5	0.36	0.15	0.22	-	0.51	0.51	-
5-10	0.67	-	0.07	0.09	0.44	0.33	-0.06
10-15	0.84	0.15	-	0.09	0.14	0.13	-0.12
15-20	0.87	0.23	-	-	-0.07	-	-0.10
20-25	0.85	0.33	-	-	-0.08	-	-0.08
25-30	0.82	0.37	-	-	-0.10	-	-
30-35	0.78	0.38	-	-0.06	-0.11	-	-
35-40	0.76	0.42	-	-	-	-0.08	-
40-45	0.67	0.49	-	-	-	-0.06	-
45-50	0.65	0.47	-	-	-	-0.06	-
<i>Фітоіндикаційні оцінки екологічних факторів</i>							
Hd	-0.48	0.39	-0.09	-0.18	-0.16	0.32	-0.30
ffl	0.21	-0.30	0.44	-0.08	0.24	-	0.53
Rc	0.45	-	-0.36	0.39	-0.37	0.23	0.27
Sl	0.45	-0.17	0.19	-0.10	0.12	-0.46	-
Ca	0.32	-0.45	-	0.39	0.19	0.19	-0.08
Nt	0.14	-0.16	-0.74	0.34	-0.31	0.13	0.14
Ae	-0.26	0.43	-0.17	-0.33	-0.31	0.17	-0.24
Tm	0.09	-0.57	-0.29	0.38	0.11	-0.07	-0.21
Om	-0.21	-	0.09	-0.09	-0.27	0.67	0.20
Kn	0.57	-0.33	-0.33	0.37	-	-0.11	0.17
Cr	-	-0.45	-0.25	0.15	0.25	-	-0.63
Lc	-0.10	-0.07	-0.71	0.11	-0.15	-	0.08
<i>Статистики головних компонент</i>							
Власне число	8.29	4.15	3.06	1.88	1.80	1.41	1.14
% загальної мінливості	27.64	13.83	10.19	6.26	6.00	4.68	3.80
Кумулятивне власне число	8.29	12.44	15.50	17.38	19.18	20.58	21.72
Кумулятивний % мінливості	27.64	41.47	51.66	57.92	63.92	68.61	72.41

Результати аналізу свідчать про те, що простір ознак, який складається з 30 первинних показників, може бути описаний за допомогою сімох головних компонент, власні числа яких переважають одиницю. Ці компоненти описують 72,4 % варіювання простору ознак. Головні компоненти представляють собою інтегральні змінні, які чутливі до погодженої динаміки екологічних властивостей техноземів. Очевидно, спільні ґрунтотвірні процеси приводять до виникнення такої погодженої динаміки показників. Головна компонента 1 описує 27,6 % загальної варіабельності простору ознак. Ця компонента вказує на збільшення твердості ґрунту в межах усього профілю, що пов'язане з одночасним зменшенням електричної провідності та вологості. Інші змінні дозволяють деталізувати характер варіювання. Головну компоненту 1 можна інтерпретувати як результат мінливості твердості ґрунту при зміні вологості.



**Рис. 1.** Варіювання головних компонент залежно від типу технозему

Більш вологі ґрунти загалом відрізняються меншою твердістю, а відповідно зменшення вологості даного ґрунту супроводжується збільшенням його твердості. Головна компонента 1 дозволяє чітко виокремити дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках від усіх інших техноземів (рис. 1). Головна компонента 2 описує 13,8 % варіювання простору ознак. Вона дуже чутлива до варіювання значень лог-трансформованих змінних  $\text{llr}_3$  та  $\text{llr}_4$ , а також показників твердості ґрунту, за винятком твердості на глибині 5–10 см. Позитивні значені головної компоненти 2 відповідають

більшому рівню аерації та вологості техноземів, а від'ємні – більшим значенням вмісту карбонатів, показників термоклімату та варіюванню режиму вологості. Ця головна компонента протиставляє дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих або на сіро-зелених глинах педоземам та техноземам на лесоподібних суглинках.

Головна компонента 3 описує 10,2 % варіабельності простору ознак. Вона практично індіферентна показникам твердості, але чутлива до агрегатного складу та електропровідності ґрунту. З фітоіндикаційних маркерів ця компонента найбільш чутлива до показнику рівня азотного живлення ґрунтів та освітлення. Це дозволяє стверджувати, що аспектом специфічності червоно-бурих глин є порівняно більший рівень азотного живлення при більшому рівні освітлення, порівняно з іншими техноземами.

Головна компонента 4 описує 6,3 % варіабельності простору ознак. Ця головна компонента також мало залежить від твердості, але чутлива до таких властивостей техноземів, як агрегатний склад, вміст азоту, карбонатів та кислотність ґрунту. Погоджене збільшення вказаних властивостей найбільш притаманне дерново-літогенним ґрунтам на сіро-зелених глинах.

Головна компонента 5 описує 6,0 % варіювання простору ознак. Ця компонента чутлива до протилежної динаміки твердості у верхніх шарах ґрунту: 0–15 з одного боку та 15–35 см – з іншого. Також чутлива до агрегатного складу, кислотності, аерації та вмісту азоту. Ця компонента найбільшою мірою протиставляє техноземи на червоно-бурих на сіро-зелених глинах.

Головна компонента 6 описує 4,7 % простору ознак. Рівень її зв'язку з агрегатним складом незначний. Ця компонента чутлива до зворотної динаміки твердості на глибині 0–15 см з одного боку та 35–50 см – з іншого. Також головна компонента 6 найбільш чутлива до рівня мінерального живлення техноземів та до показнику омброклімату. Ця компонента диференціює педоземи та техноземи на сіро-зелених глинах.

Головна компонента 7 описує 3,8 % варіювання простору ознак. Чутлива до варіювання твердості ґрунту на глибині 5–25 см. Найбільшою мірою віддзеркалює варіювання показнику мінливості водного режиму та кріоклімату. За вказаними ознаками техноземи розрізняються несуттєво. Найбільш вірогідно, що ця компонента має часову та просторові складові.

Таким чином, головні компоненти віддзеркалюють переважні погоджені тренди варіювання екологічних властивостей техноземів. Перелік змінних, які характеризують ґрунти та техноземи у тому числі, значно ширший ніж той, який розглянуто у нашій роботі. Але наявність погодженої динаміки тих змінних, які було досліджено, дозволяє вважати, що досить вірогідно, у рамках виокремлених головних компонент також відбувається варіювання тих змінних, які досліджено не було.

Важливо відзначити, що головні компоненти володіють диференціальною здатністю. Кожна з них вказує на особливості окремого технозему або їх певної групи. За своєю природою деякі обрані ознаки безпосередньо характеризують ґрунт у контексті його значення як середовища існування живих організмів. Також важливу групу ознак представляють фітоіндикаційні оцінки екологічних режимів техноземів. Нами показано, що варіювання як едафічних характеристик, так і екологічних оцінок, які базуються на властивостях рослинного покриву, між собою синхронізовані. Факт такої синхронізації дозволяє зробити більш глибокі екологічні інтерпретації показників, які мають самостійне значення.

Досліджені показники мають різний масштаб охоплення як у просторі, так і часі. Досліджені едафічні показники є динамічними властивостями ґрунту, які здатні змінюватися протягом сезону. Агрегатний склад та електропровідність виміряні у поверхневому шарі ґрунту. Вимірювання твердості виконано на глибину проникнення переважної більшості кореневих систем рослин. Рослинні угруповання характеризуються часовою спадковістю протягом тривалого періоду, а також просторово охоплюють більш значний діапазон шару ґрунту, ніж ті межі, у яких зроблено вимірювання фізичних властивостей ґрунтів. Крім того, рослини розвиваються також у надземному ярусі. Наявність головних компонент вказує на наявність інтегративних властивостей у біогеоценозів, які формуються на основі техноземів.

## Висновки

Лог-трансформація показників агрегатної структури на основі оптимального алгоритму можуть дати змінні, які найбільшою мірою скорельовані з іншими екологічними властивостями техноземів. Лог-трансформовані змінні структури володіють необхідними статистичними властивостями для того, щоб їх можна було застосовувати у параметричних статистичних процедурах.

Аналіз головних компонент свідчить про те, що простір ознак, який складається з 30 первинних екологічних показників техноземів, може бути описаний за допомогою сімох головних компонент, які описують 72,4 % варіювання простору ознак. Кожна з головних компонент вказує на особливості окремого технозему або їх певної групи.

Показано, що варіювання як едафічних характеристик, так і екологічних оцінок, які базуються на властивостях рослинного покриву, між собою синхронізовані. Наявність головних компонент вказує на наявність інтегративних властивостей у біогеоценозів, які формуються на основі техноземів.

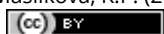
## References

- Aitchison, J. (1986). The statistical analysis of compositional data. London: Chapman and Hall.
- Butler, A., Bierman, S., Marion G. (2005). Statistical methods for environmental risk assessment. Compositional data module. Biomathematics and Statistics Scotland, The University of Edinburgh, James Clerk Maxwell Building, The King's Buildings, Edinburgh EH9 3JZ.. (<http://www.bioss.ac.uk/staff.html>).
- Demidov, A.A., Kobets, A.S., Gritsan, Yu.I., Zhukov, A.V. (2013). Spatial agricultural ecology and soil recultivation. Dnepropetrovsk: A.L. Svidler Press. DOI: [10.13140/RG.2.1.5175.5040](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5175.5040)
- Diduh, Y. P. (2012). The principles of the bioindication. Kyiv: Naukova dumka (in Ukrainian).
- Didukh, Ya.P. (2011). The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv: Phytosociocentre.
- Egozcue, J. J., Pawlowsky-Glahn, V. (2005). Groups of parts and their balances in compositional data analysis. *Mathematical Geology*, 795–828.
- Gerald K. van den Boogaart, Raimon Tolosana and Matevz Bren (2014). compositions: Compositional Data Analysis. R package version 1.40-1. <https://CRAN.R-project.org/package=compositions>
- Maslikova, K.P., Ladska, I.V., Zhukov, O.V. (2016). Permeability of soils in artificially created models with different stratigraphy. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*. 6 (3), 234–247. DOI: <http://dx.doi.org/10.15421/201693>
- Maslikova, K.P. (2018). Management of functional properties of recultozem models with placement primary stratigraphy. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 619–627. doi: [10.15421/2018\\_257](https://doi.org/10.15421/2018_257)
- Parent, L. E., Parent, S.-E., Katterer, T., Egozcue, J. J. (2011). Fractal and compositional analysis of soil aggregation. Proceedings of the 4th International Workshop on Compositional Data Analysis. Codawork 2011, San Feliu de Guixols, Spain, May 9–13. 1–14.
- Pawlowsky-Glahn, V., Egozcue, J. J., Tolosana-Delgado, R. (2011). Principal balances to analyse the geochemistry of sediments. Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences, Proceedings, September 5–9, 1–10.
- Pearson, K. (1897). Mathematical contributions to the theory of evolution. On a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. Proceedings of the Royal Society of London, 489–502.
- R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Thomas, C. W., Aitchison, J. (2006). Log-ratios and geochemical discrimination of Scottish Dalradian limestones: a case study. *Compositional data analysis in the geosciences: from theory to practice*. Geological Society, London, Special Publication, 25–41.
- Vernadsky, V. I. (1923). A plea for the establishment of a biogeochemical laboratory. *The Marine Biol. Stat. of Part Erin Annual Report*, 37, 38–43.
- Zhukov, A. V. (2015). Phytoindicator estimation of the multidimensional scaling of the plant community structure. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*, 1 (1), 69–93 (in Russian).
- Zhukov, A. V., Shatalin, D.B. (2016). Hygrotope and trophotope of the steppe prydnirovie biogeocoenosis as determinants of the earthworms (Lumbricidae) communities  $\beta$ -diversity. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*, 6 (2), 129–157 (in Russian). DOI: [10.15421/201651](https://doi.org/10.15421/201651)
- Zhukov, A.V., Andrusevich, K.V., Lapko, K. V., Sirotina, V. O. (2015). Geostatistical estimation of soil aggregate structure as a composite variable. *Biological Bulletin*, 3, 101–121 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.7905/bbmsspu.v5i3.989>
- Zhukov, A.V., Kunah, O.N., Novikova, V.A., Ganzha, D.S. (2016). Phytoindication estimation of soil mesopedobionts communities catena and their ecomorphic organization. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*, 6 (3), 91–117 (in Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.15421/201676>
- Zhukov, A.V., Zadorozhnaya, G.A. (2016). Spatio-temporal dynamics of the penetration resistance of recultivated soils formed after open cast mining. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, 24(2), 324–331 (in Russian). DOI: [10.15421/011642](https://doi.org/10.15421/011642)
- Zhukov, O.V. (2015). Influence of usual and dual wheels on soil penetration resistance: the GIS-approach. *Biological Bulletin Of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*, 3, 73–100. DOI: [10.7905/bbmsspu.v5i3.988](https://doi.org/10.7905/bbmsspu.v5i3.988)
- Zhukov, O.V., Kunah, O.M., Taran, V.O., Lebedinska, M. M. (2016). Spatial variability of soils electrical conductivity within arena of the river dnepyr valley (territory of the natural reserve “Dniprovsko–Orilsky”). *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*, 6 (2), 129–157 (in Ukrainian). DOI: <http://dx.doi.org/10.15421/201646>
- Zhukov, O.V., Zadorozhna, G.O., Maslikova, K.P., Andrusevych, K.V., Lyadskaya, I.V. (2017). *Tehnosols Ecology: Monograph*. Dnipro: Zhurfond, 442. (in Ukrainian).
- Zonn, S.V., Travleev, A.P. (1989). Geographical and genetic aspects of pedogenesis, evolution and preservation of soil. *Naukova Dumka, Kyiv*, 216

---

### Citation:

Maslikova, K.P. (2018). Principal component analysis of technosols ecological properties. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(2), 105–112.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License