

**ДИНАМІКА РЕГУЛЯТОРНИХ ЕКОСИСТЕМНИХ СЕРВІСІВ  
ПРОТЯГОМ ТЕХНОГЕННОГО ҐРУНТОГЕНЕЗУ В ТЕХНОЗЕМАХ  
НІКОПОЛЬСЬКОГО МАРГАНЦЕВОРУДНОГО БАСЕЙНУ**

**О. В. ЖУКОВ**, доктор біологічних наук

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

*E-mail: zhukov\_dnipro@ukr.net*

**К. П. МАСЛІКОВА**, кандидат біологічних наук

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*

*E-mail: mkaterina@ukr.net*

**Д. В. КОВАЛЕНКО**, здобувач

*Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана*

*Хмельницького*

*E-mail: dashuliakovalenko30@gmail.com*

**Анотація.** У роботі показана можливість індикації регуляторних екосистемних сервісів протягом техногенного ґрунтогенезу за допомогою фітоіндикаційних оцінок термоклімату, континентальності, кріоклімату та обмроклімату. Польові дослідження проводились протягом 2008–2017 рр. у дослідній біоекологічній станції Дніпровського аграрно-економічного університету (м. Покров, Дніпропетровська область, Україна). Полігони закладені у межах чотирьох типів техноземів: педоземи, дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках, сіро-зелених глинах та червоно-бурих глинах. Встановлено, що поверхня ембріоземів одержує більшу кількість сонячної радіації, ніж поверхня дерново-літогенних ґрунтів, а поверхня останніх одержує більше тепла, ніж педоземи. Більш щільний рослинний покрив, який здатний розвиватися на все більш родючому ґрунті, створює більш виразний ефект екранування. Протягом ґрунтогенезу

фітоіндикаційні оцінки радіаційного балансу знижуються та асимптотично наближаються до стаціонарних рівнів. Обмроклімат ембріоземів можна охарактеризувати як такий, що сприяє мезоаридофітам, а обмроклімат дерново-літогенних ґрунтів та педоземів сприяє субаридофітам. Стабілізація обмрорежиму є умовою стійкого функціонування техногенної ґрунтової екосистеми. Одержані свідчення, що протягом ґрунтогенезу фітоіндикаційні оцінки континентальності вказують на зменшення контрастності мікрокліматичних умов. Для угруповань рослинності, які сформовані на різних типах техноземів, встановлений синхронний характер динаміки показників континентальності. Протягом періоду ґрунтогенезу на техноземах формуються рослинні угруповання, які певною мірою приходять у відповідність з умовами навколишнього кліматичного

Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

оточення. Це проявляє себе у тому, що фітоіндикаційні оцінки кріоклімату досить чітко відповідають вимірюванням за допомогою метеорологічних приладів.

Основою виробництва продовольства є сільське господарство. Землі сільськогосподарського користування займають близько 40% поверхні суші [19], і агроценози можна розглядати як найбільший сучасний біом суші [9]. Екосистемні сервіси – це умови та процеси, завдяки яким природні екосистеми та види, які їх складають, підтримують та забезпечують життя людини [5]. Установлені чотири категорії екосистемних сервісів: підтримуючі (*Supporting services*) – необхідні для виконання усіх інших екосистемних сервісів (грунтоутворення, кругообіг поживних речовин, первинна продуктивність); ті, що забезпечують (*Provisioning services*) – продукти, які можуть бути одержані від екосистем (продукти, вода, а також генетичні ресурси); регуляторні (*Regulating services*) – регуляція клімату, розкладання забруднюючих речовин, контроль шкідників та хвороб, опилення; культурні (*Cultural services*) – нематеріальні вигоди, які одержують люди від природи (рекреація та екотуризм, освіта та ін.) [21]. Відповідно до Стратегії Біорізноманіття Євросоюзу (Ціль 2, Дія 5) стан екосистем та екосистемні

**Ключові слова:** екосистемні сервіси, рекультивація, фітоіндикація, термоклімат, омброклімат, кріоклімат, континентальність

сервіси країнах-членах Європейського союзу повинні бути визначені та позначені картографічно [22]. Економічне значення екосистемних сервісів також повинно бути встановлене та інтеграція таких оцінок повинна враховуватися як на рівні ЕС, так і на національних рівнях [3]

Економічна оцінка екосистемних сервісів – найважливіша практична та теоретична проблема у сучасній науці. Оцінка опилення як екосистемної функції на глобальному рівні дало цифру 153 білліонів євро на рік [10]. У межах Європейського союзу ця оцінка становить 14,6 білліонів на рік [15]. В Сполучених Штатах Америки екосистемний сервіс контролю шкідників природними популяціями комах (карабіди, павуки, та ін.) оцінюється в 13,6 білліонів на рік [16]. Не дивлячись на фундаментальну важливість ґрунту у сільському господарстві економічні оцінки негативного впливу на ґрунт обмежуються переважно ерозією та забрудненням, при цьому значення біологічного різноманіття ґрунтової біоти майже не досліджено. Значення діяльності ґрунтової біоти в

Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

грунтотвірному процесі оцінено у 5 білліонів на рік в США та 25 білліонів у глобальному масштабі [20].

У свою чергу агропромисловий комплекс є значним рушієм вітчизняної економіки. Сталий розвиток агросфери є умовою добробуту та розвитку нації. Досягнення екологічно обґрунтованого рівня агропромислового виробництва потребує розробки та впровадження інноваційних технологій менеджменту складових агроecosystem. Екологічна складова формує біотичний потенціал та стосовно до інших компонент є матрицею, яка створює умови [24]. Агровиробнича складова визначається культурою технологічних стратегій. Економіко-соціальна складова є матрицею мотивів та оцінювання результативності господарювання як комплексної функції, яка включає задоволення ієрархії потреб від фізіологічних до найвищих духовних. Кожна зі складових є складно організованою системою, яка має власні цілі [25]. Гармонізація стратегій досягнення цих цілей потребує розробки технологій менеджменту та алгоритмів їх впровадження на різних ієрархічних рівнях агроecosystem. Для цього необхідне концептуальне вирішення питання цілепокладання для різних складових агроecosystem та

кількісної їх формалізації. Важливим завданням є конвертація цілей підсистем в термінах комплементарних складових: як екологічні цілі виглядають з боку агротехнологічної та економіко-соціальної складових, та відповідно агротехнологічні та економіко-соціальні цілі з боку інших [26].

Найбільш важливими екосистемними сервісами у сільському господарстві є: опилення, природний контроль шкідників сільського господарства, підтримання родючості ґрунтів, охорона біологічного різноманіття та біотопів, які є вмістилищем цього різноманіття [8].

Біологічне різноманіття та пов'язані екосистемні процеси забезпечують екосистемні сервіси з залученням великої кількості видів для виконання більш ніж одного екосистемного сервісу. Багато видів комах приймають участь у процесі запилення рослин [4, 12, 13]. Комахи звичайно відвідують квіти для збирання їжі (нектар та/або пилок) та можуть бути генералістами з широким трофічним спектром та відвідуючи багато видів рослин або спеціалістами, які відвідують тільки обмежене коло видів рослин. У світі 264 видів культурних рослин повністю або частково потребують опилення та продукція біля 75 % культур, які поступають на глобальний ринок, залежить від опилення [14]. Найбільш відомим

Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

поліатором є медоносна бджола, але повністю пов'язувати процес запилення з одним видом не є обґрунтованим. Різноманіття поліаторів здатне збільшити врожайність або якість фруктів [1].

Видобуток корисних копалин відкритим способом призводить до повного руйнування ґрунтового покриву – основи біогеоценозу, а також знищує фіто-, зоо- та мікробіоценозні блоки біогеоценозу. Для розробки найефективніших та раціональних методів рекультивациі велике значення має дослідження процесів їх природної еволюції – відновлення рослинного покриву та тваринного населення як інформативних компонентів біогеоценозу [24]. Ми пропонуємо розглядати рекультивацию як систему заходів по відновленню екосистемних сервісів біоти. У цьому зв'язку актуальною проблемою виступає можливість кількісної оцінки екосистемних сервісів.

Нашою робочою гіпотезою є те, що фітоіндикаційні оцінки екологічних режимів, які можуть бути одержані на основі дослідження рослинних угруповань, які формуються на техноземах, можуть бути маркерами активності

екосистемних сервісів. Показано, що опорні екосистемні сервіси можуть бути діагностовані за допомогою фітоіндикаційних шкал мінералізованості, трофності та кислотності едафотопу [17].

Ціллю нашої роботи показати можливість індикації регуляторних екосистемних сервісів протягом техногенного ґрунтогенезу за допомогою фітоіндикаційних оцінок термоклімату, континентальності, кріоклімату та обмроклімату.

**Матеріали та методи.** Польові дослідження проводились протягом 2008–2017 рр. у дослідній біоекологічній станції Дніпровського аграрно-економічного університету (м. Покров, Дніпропетровська область, Україна). 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 (рис. 1). Кожний майданчик представляє собою квадрат розміром 3×3 м. У межах кожного майданчика було проведено геоботанічне описання рослинності.

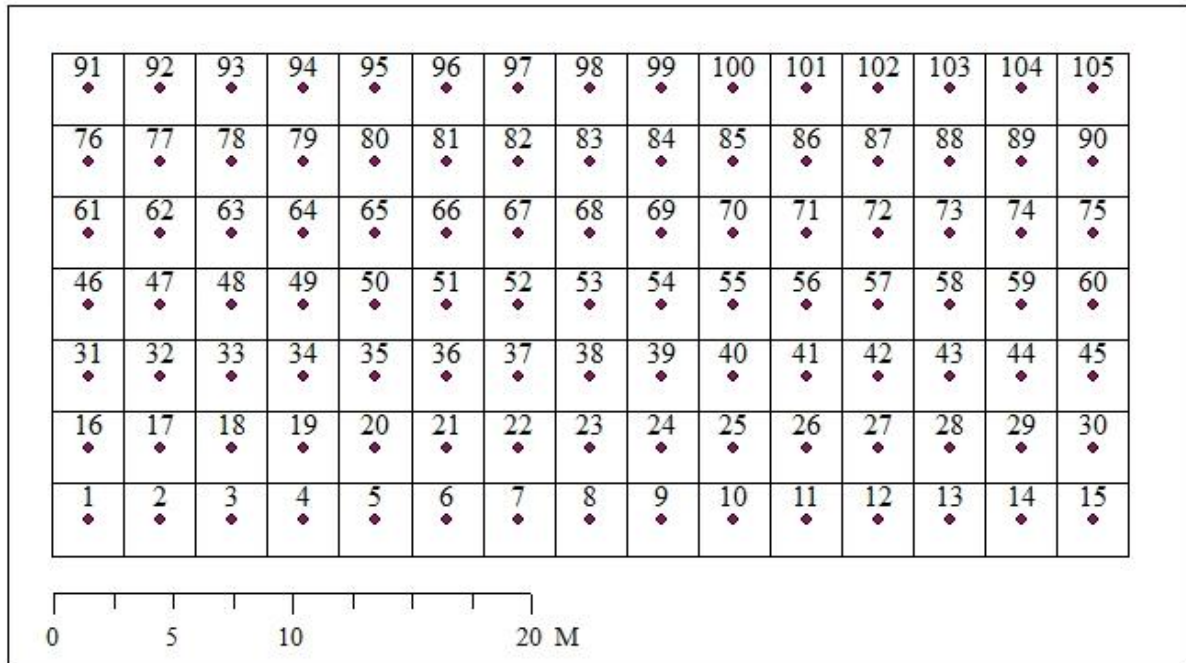


Рис. 1. Схема полігону та розміщення пробних ділянок

Відомості про динаміку заростання відвалів на фазі формування ембріоземів протягом першого періоду сукцесії (2, 4, 6, 8 років) взяті з роботи М. Т. Масюка [18]. Відомості про стан рослинного угруповання на техноземах віком 39, 40, 41 та 42 роки – власні експериментальні результати [17]. Часова динаміка змін фітоіндикаційних показників була апроксимована рівнянням Хілла, яке має вигляд:

$$Y = \frac{T^n}{T^n + K'}$$

де  $Y$  – екологічний фактор;  $T$  – час існування технозему, роки;  $n$  та  $K'$  – константи. Коефіцієнт Хілла знайдений як вільний член лінійної залежності, побудованої у координатах  $\log T$  – ось абсцис,  $\log (Y/(Y_{\max}-Y))$  – ось ординат. Коефіцієнт Хілла характеризує

кооперативність динаміки процесу. При коефіцієнті Хілла, який більше 1 спостерігається позитивний кооперативний ефект, при коефіцієнті Хілла, який менший 1 – негативний кооперативний ефект, якщо коефіцієнт дорівнює одиниці – кооперативний ефект відсутній.

Я. П. Дідух [7] 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 засвоюваних 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



Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

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 [7].

Кожному показнику термоморф поставлене у відповідність значення радіаційного балансу (рис. 2).

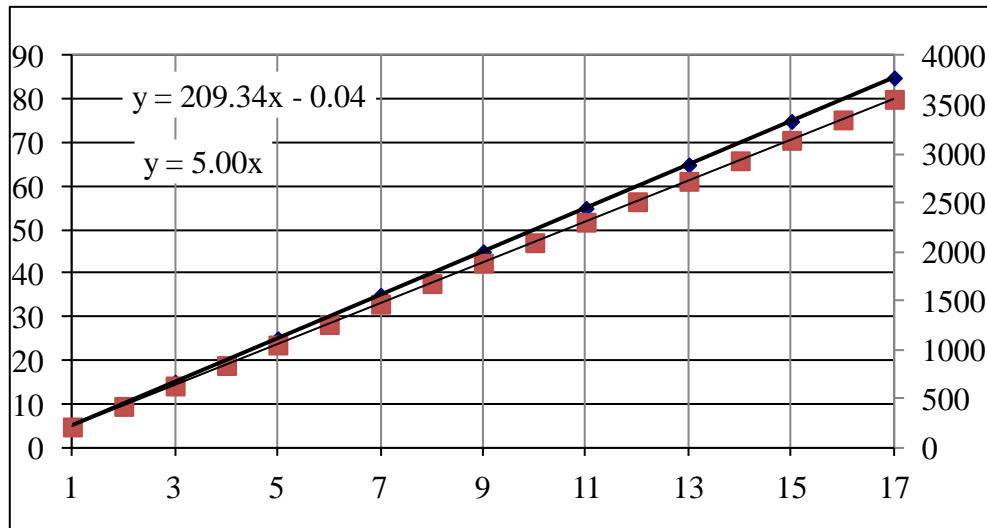


Рис. 2. Залежність між фітоіндикаційними оцінками термоклімату (ось абсцис) та радіаційним балансом (ось ординат зліва – у ККал/см²/рік за Цигановим [23], ось ординат справа – у МДж/(м² \* рік) за Didukh [7])

Наші розрахунки показують, що залежність між показниками термоклімату та радіаційним балансом можна апроксимувати лінійними рівняннями:

$$Y = 209.34X - 0.0441,$$

де  $Y$  – радіаційний баланс, МДж/(м² \* рік);  $X$  – показник термоморф.

Інтерполяція між характеристикою омброрезиму та бальними оцінками за шкалою омброрезиму дали таку залежність (рис. 3):

$$Y = 196.15X - 2537.2,$$

де  $Y = P - E$  ( $P$  – опади, мм/рік,  $E$  – випаровування, мм/рік),  $X$  – бальні оцінки за шкалою омброрезиму.

Залежність показника континентальності від бальних оцінок також має лінійний характер:

$$Y = 10X + 41,$$

де  $Y$  – фактор континентальності,  $X$  – бальні оцінки за шкалою континентальності.

Середню температуру найхолоднішого місяця можна оцінити за рівнянням:

$$Y = 3.83X - 38.17,$$

Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

де  $Y$  – середня температура найхолоднішого місяця, °С,  $X$  –

бальні оцінки за шкалою кріоклімату.

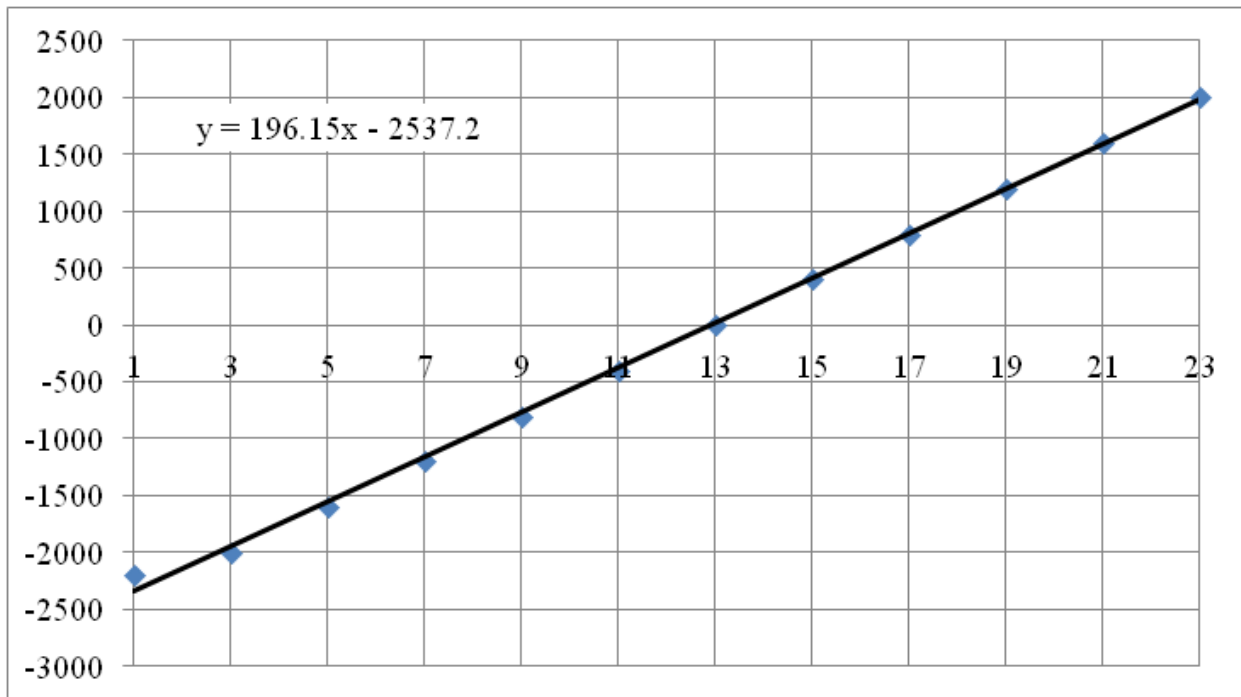


Рис. 3. Залежність характеристики омброклімату ( $P-E$ , де  $P$  – опади, мм/рік,  $E$  – випаровування, мм/рік) від бальних оцінок за шкалою омброклімату (за [7]).

### Результати та обговорення

#### Термокліматичний аспект екосистемних сервісів рослинності техноземів

За даними М.О. Бекаревича [2] кількість енергії, що надходить від сонця на поверхню ґрунту в умовах Нікопольської метеостанції, в ясний зимовий день (січень) становить 690.4 Дж/см<sup>2</sup>/добу і в похмурий – лише 171.5 Дж/см<sup>2</sup>/добу. В ясний та похмурий літній день (липень) – відповідно 2715.4 і 602.5 Дж/см<sup>2</sup>/добу. Баланс сонячної енергії в ясний день ранньою весною (березень, початок квітня) дорівнює +573.2 Дж/см<sup>2</sup>/добу, влітку відповідно +999.9 Дж/см<sup>2</sup>/добу. Термоклімат характеризує кількість

тепла, що отримує певна територія поверхні за певний період, або радіаційний баланс [7]. За метеорологічними даними радіаційний баланс можна оцінити за формулою [11]:

$$R = 923.54 + 122.72 T,$$

де  $R$  – радіаційний баланс, МДж/(м<sup>2</sup>\*рік),  $T$  – середньорічна температура повітря, °С. Середньорічна температура у період з 1966 по 2013 рр. за даними метеостанції у м. Нікополь становила 9.8°С. Таким чином, радіаційний баланс у межах досліджуваної території за цією формулою становить 2126.2 МДж/(м<sup>2</sup> \* рік). Також радіаційний баланс можна оцінити за допомогою суми активних

Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

температур повітря [6]:

$$R = 41/87 * [0/0121 * (\sum t > 10^\circ) + 9.9289],$$

де  $R$  – радіаційний баланс, МДж/(м<sup>2</sup> \* рік),  $\sum t > 10^\circ$  – сума температур, які перевищують 10°C протягом року. Середня сума ефективних температур у період з 1966 по 2013 рр. становить 3399.6°C, що дозволяє оцінити радіаційний баланс як такий, що дорівнює 2117.8 МДж/(м<sup>2</sup> \* рік). Таким чином, оцінки радіаційного балансу, які одержані різними методами, дають близькі результати.

Одержані дані свідчать про те, що поверхня ембріоземів одержує більшу кількість тепла, ніж поверхня дерново-літогенних ґрунтів, а поверхня останніх одержує більше тепла, ніж педоземи ( $F = 13.4$ ,  $p = 0.000$ ). Фітоіндикаційні оцінки радіаційного балансу на поверхні ембріоземів значно перевищують оцінки цього показнику за кліматичними даними. Так, середнє значення радіаційного балансу для ембріозему становить 2325.1 МДж/(м<sup>2</sup> \* рік), що на 9.5 % вище кліматичних оцінок. Найближча оцінка за фітоіндикаційними даними до кліматичних розрахунків зроблена для педоземів і становить 2183.5 МДж/(м<sup>2</sup> \* рік), що тільки на 2.7 % вище кліматичних оцінок.

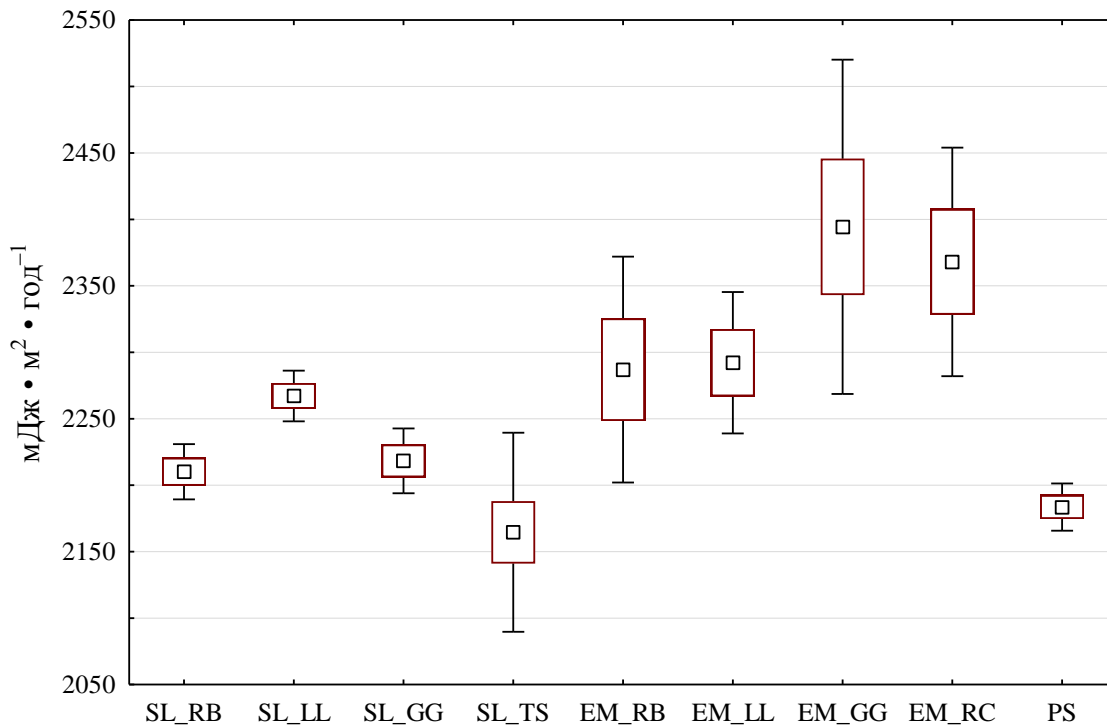
Можна припустити, що щільність рослинного покриву впливає на кількість тепла, яке

поверхня ґрунту одержує. Більш щільний рослинний покрив, який здатний розвиватися на все більш родючому ґрунті, створює більш виразний ефект екранування. Така точка зору пояснює більшу варіабельність фітоіндикаційних оцінок термоклімату ебріоземів порівняно з іншими типами техноземів. На ембріоземах піонерні рослинні угруповання вкрай фрагментарні, а значні ділянки зовсім позбавлені рослинного покриву.

Найбільшу кількість тепла одержують ембріоземи на сіро-зелених глинах та на червоно-бурих суглинках. Відповідно, менше тепла попадає на поверхню лесоподібних суглинків та червоно-бурих глин (рис. 4).

Розбіжності між різними типами дерново-літогенних ґрунтів не дуже значні. Найменшу кількість тепла одержує дерново-літогенний ґрунт на технологічній суміші гірських порід. Слід відзначити, що щільність рослинного покриву на цьому техноземі не більше, ніж на інших техноземах. До уваги треба ще брати таку обставину, як колір поверхні техноземів. Більш світлі тона поверхні характеризуються більшим рівнем альbedo, що впливає на радіаційний баланс.





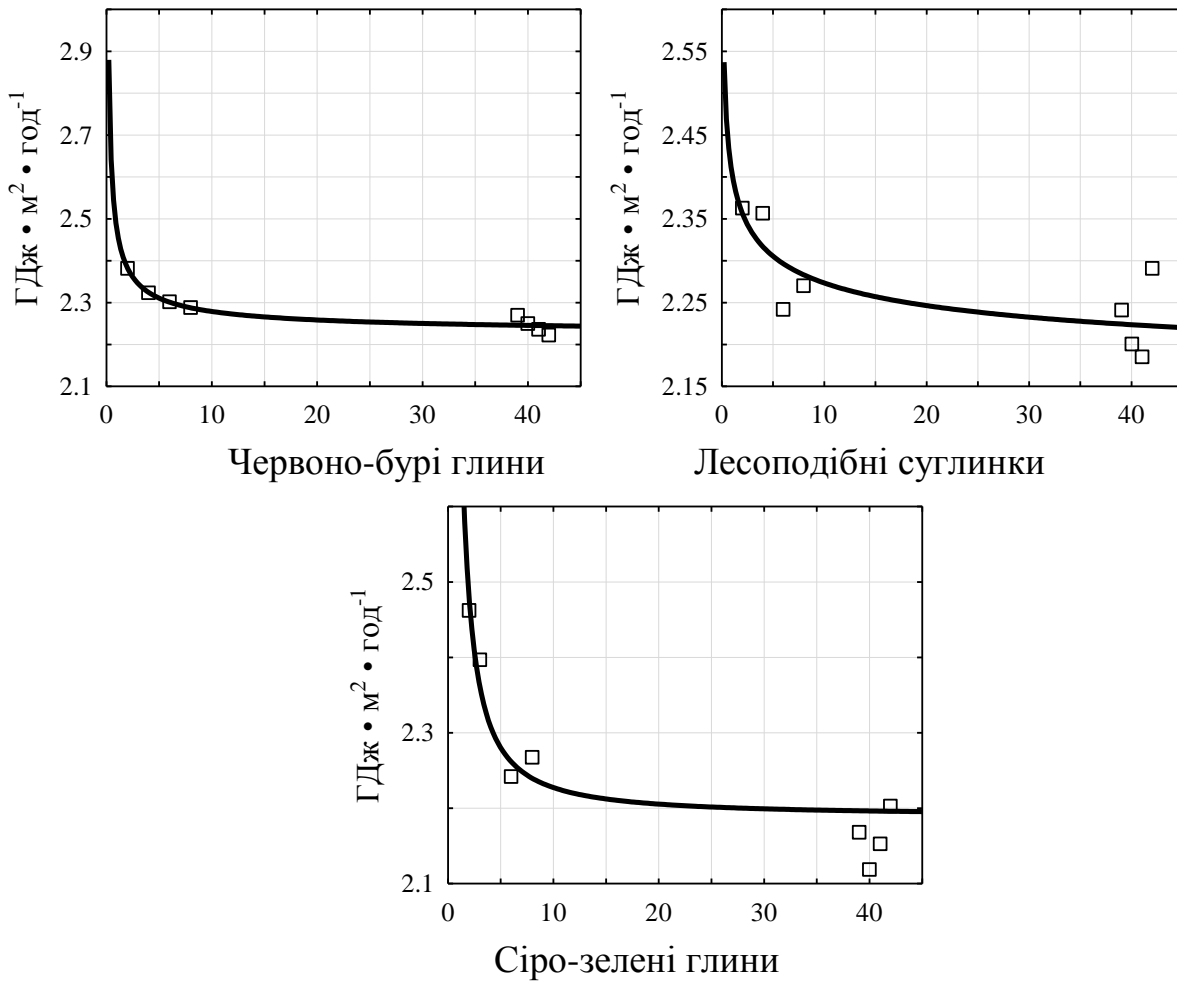
**Рис. 4. Фітоіндикаційна оцінка термоклімату**

**Умовні позначки:** SL\_RB – дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах; SL\_LL – дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках; SL\_GG – дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах; SL\_TS – дерново-літогенні ґрунти на технологічній суміші гірських порід; EM\_RB – ембріоземи на червоно-бурих глинах; EM\_LL – ембріоземи на лесоподібних суглинках; EM\_GG – ембріоземи на сіро-зелених глинах; EM\_RC – ембріоземи на червоно-бурих суглинках; PS – педоземи.

Протягом ґрунтогенезу фітоіндикаційні оцінки радіаційного балансу знижуються та асимптотично наближаються до стаціонарних рівнів (рис. 5). Розрахункові стаціонарні рівні наближені до оцінок радіаційного балансу за кліматичними даними (табл. 1). Найменший стаціонарний рівень встановлений для лесоподібних суглинків, а найбільший – для сіро-зелених глин. Цей результат ми також пов'язуємо з відмінностями потенціальної родючості техноземів та, відповідно, проєктивним покриттям рослинного

покриву. Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинків характеризуються найбільшим потенціалом родючості, відповідно до чого на них рослинний покрив має найбільший ефект екранування.

Формування досить щільного рослинного покриву на техноземах внаслідок їх потенціальної родючості відбувається досить швидко, що пояснює дуже швидку інтенсивність досягнення стаціонарного стану індикуваних значень радіаційного балансу. Термін досягнення половинного рівня від стаціонарного становить 7.9–10.6 років.



**Рис. 5. Динаміка радіаційного балансу техноземів за результатами фітоіндикації в процесі ґрунтогенезу**

**1. Рівняння динаміки радіаційного балансу техноземів (Y) за результатами фітоіндикації у часі ґрунтогенезу (x)**

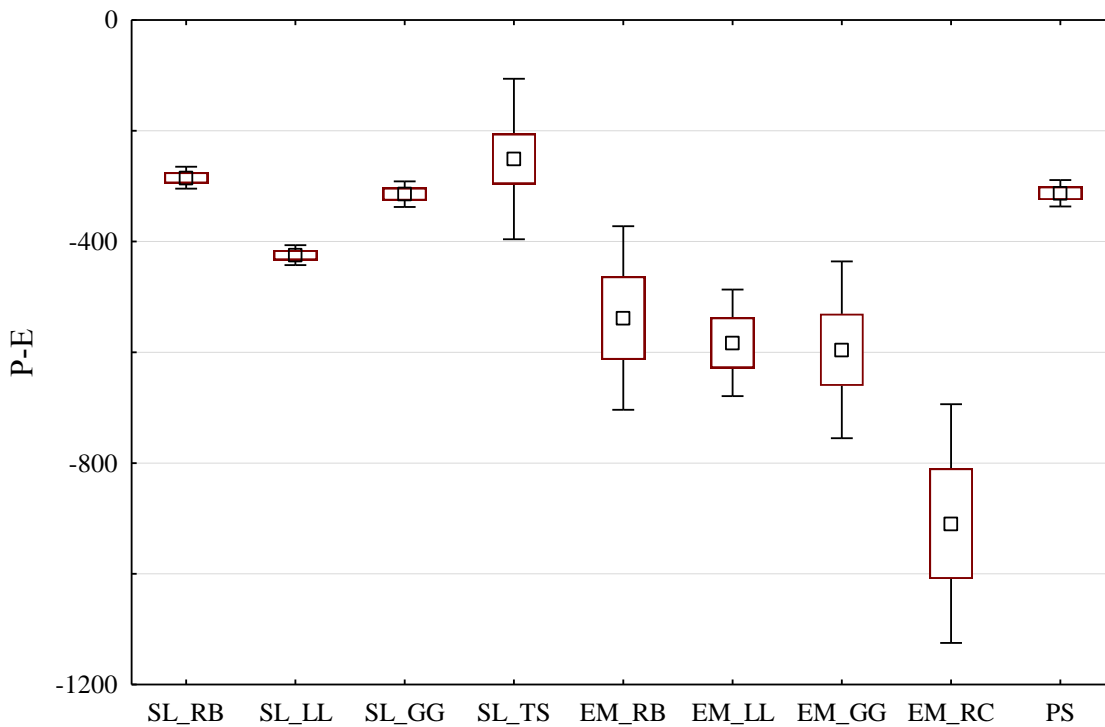
Субстрат	Рівняння	Число Хілла	T <sub>50</sub> , років	ГДж • м² • год <sup>-1</sup>
Червоно-бурі глини	$Y = 2.23 + 100 * x^{-0.65} / (x^{-0.65} + 398)$	2.00	8.1	2.23
Лесоподібні суглинки	$Y = 2.17 + 100 * x^{-0.24} / (x^{-0.24} + 328)$	2.13	10.6	2.17
Сіро-зелені глини	$Y = 2.30 + 100 * x^{-1.27} / (x^{-1.27} + 142)$	1.85	7.9	2.30

Очевидно, дика рослинність досить екологічно гнучка, що дозволяє їй формувати рослинний покрив одного рівня щільності за різних режимів родючості техноземів. Це пояснює ту обставину, що динамічні характеристики фітоіндикаційних оцінок радіаційного балансу на

різних типах техноземів досить подібні.

**Омброрежим техноземів**

У межах кожного типу техноземів спостерігається стабільний рівень однорідності фітоіндикаційних оцінок омброклімату (рис. 6).



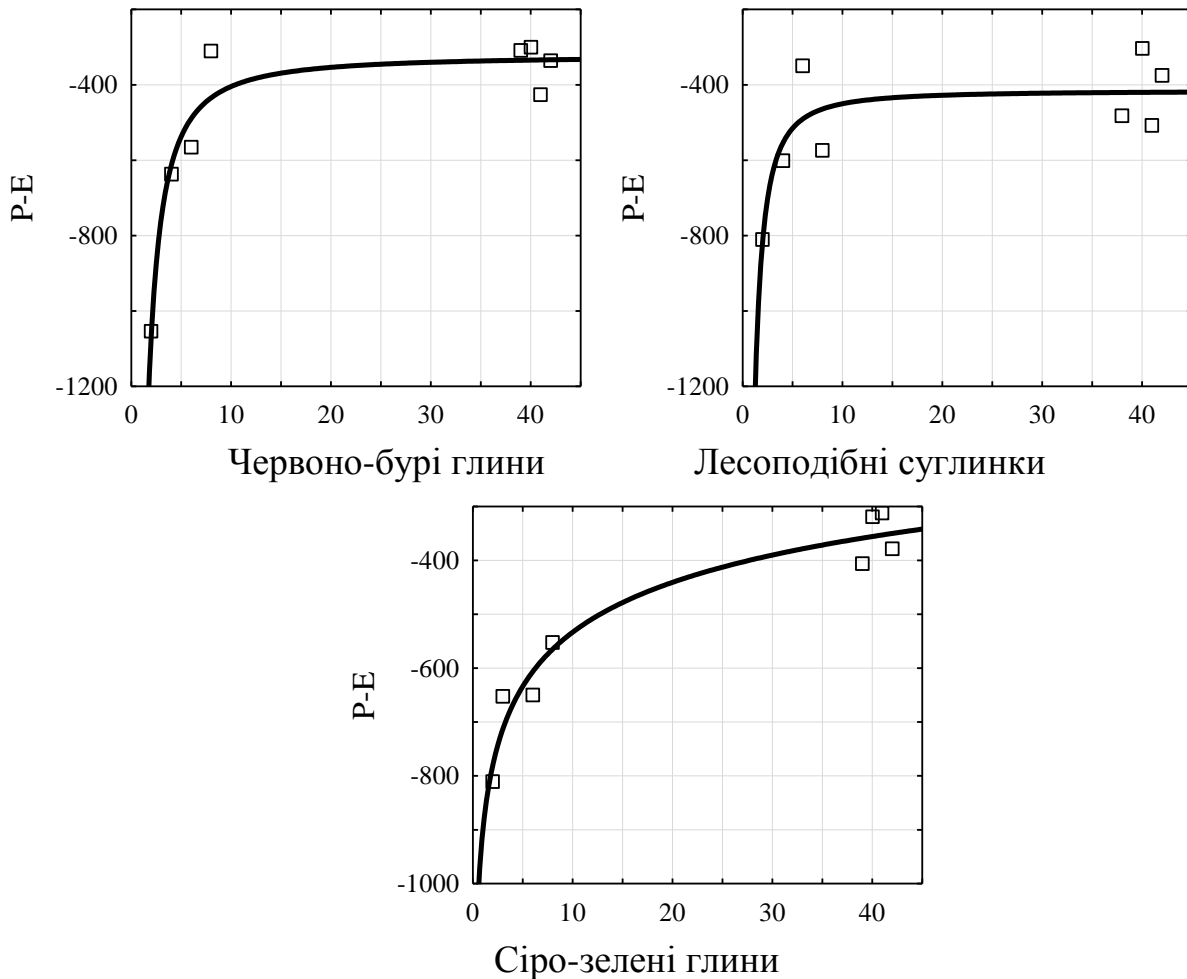
**Рис. 6. Фітоіндикаційна оцінка омброклімату**

**Умовні позначки:** див. рис. 1;  $P$  – опади, мм/рік;  $E$  – випарювання, мм/рік

Шкала омброрежиму відбиває ступінь аридності-гумідності клімату, що визначається вологістю повітря і пов'язана з кількістю опадів, стоком, випаровуваністю, транспірацією, вологістю ґрунтів тощо [7]. Цей показник виражається і в кількісних одиницях:  $P - E$ , де  $P$  – кількість атмосферних опадів, мм,  $E$  – випаровуваність, мм. Фітоіндикаційні оцінки омброклімату статистично вірогідно відмінні для ембріоземів з одного боку та дерново-літогенних ґрунтів та педоземів – з іншого ( $F = 48.5$ ,  $p = 0.000$ ). Омброклімат ембріоземів можна охарактеризувати як такий, що

сприяє мезоаридофітам (за [7]), або є мезоаридним (за [23]). Омброклімат дерново-літогенних ґрунтів та педоземів сприяє субаридофітам (за [7]) або є субаридним (за [23]). Таким чином, протягом ґрунтогенезу омброкліматичний аспект екологічного оточення техноземів суттєво змінюється.

Серед емріоземів майже аридний омброклімат встановлений для червоно-бурих суглинків. Протягом періоду ґрунтогенезу фітоіндикаційні оцінки омброклімату мають тенденцію до збільшення та виходу на стаціонарний рівень (рис. 7).



**Рис. 7. Динаміка омроклімату техноземів за результатами фітоіндикації в процесі ґрунтогенезу**

Оцінка параметрів моделей Хілла дозволяє встановити, що стаціонарні рівні показників омроклімату для червоно-бурих та сіро-зелених глин подібні між собою. Дещо менший показник характерний для лесоподібних суглинків. Загалом, стаціонарні рівні омроклімату відповідають екологічним умовам, які сприятливі для субаридофітам.

Інтенсивність досягнення стаціонарного стану за показниками омроклімату в рослинних угрупованнях на техноземах відбувається дуже швидко. Половинний рівень від стаціонарного на червоно-бурих глинах досягається вже через 6.5 років з початку процесу педогенезу (табл. 2).

**2. Рівняння динаміки омроклімату техноземів (Y) за результатами фітоіндикації у часі ґрунтогенезу (x)**

Субстрат	Рівняння	Число Хілла	T <sub>50</sub> , років	P-E
Червоно-бурі глини	$Y = -10322.7 + 10^3 * x^{1.41} / (x^{1.41} + 0.21)$	2.53	6.5	-330
Лесоподібні суглинки	$Y = -10415.9 + 10^3 * x^{1.55} / (x^{1.55} + 0.12)$	2.02	9.4	-420
Сіро-зелені глини	$Y = -9499.3 + 10^3 * x^{0.15} / (x^{0.15} + 0.16)$	2.26	11.8	-315

На лесоподібних суглинках та сіро-зелених глинах цей термін становить 9.4 та 11.8 відповідно. Швидкі терміни досягання стаціонарного стану омброклімату, на нашу думку, обумовлені динамічним характером формування щільного рослинного покриву на техноземах. Певною мірою зміна показників омброклімату протягом ґрунтогенезу є показником пертинентного впливу рослинного покриву. Пертиненція є одним з проявів екосистемних сервісів, який оптимізує екологічні режими в умовах техногенного ґрунтоутворення.

Числа Хілла, які є опосередкованим маркером складності динамічних процесів, які викликають спостережувані зміни показників омброклімату, вказують на високий рівень їх складності. Умовно кажучи, динаміка визначається не менше ніж двома «активними центрами». У першому наближенні у якості таких центрів можна розглядати рослинний покрив та техногенні ґрунти. Взаємний вплив цих факторів динаміки формує режим стабілізації омброрежиму. Слід відзначити, що стабілізація омброрежиму є умовою стійкого функціонування техногенної ґрунтової екосистеми.

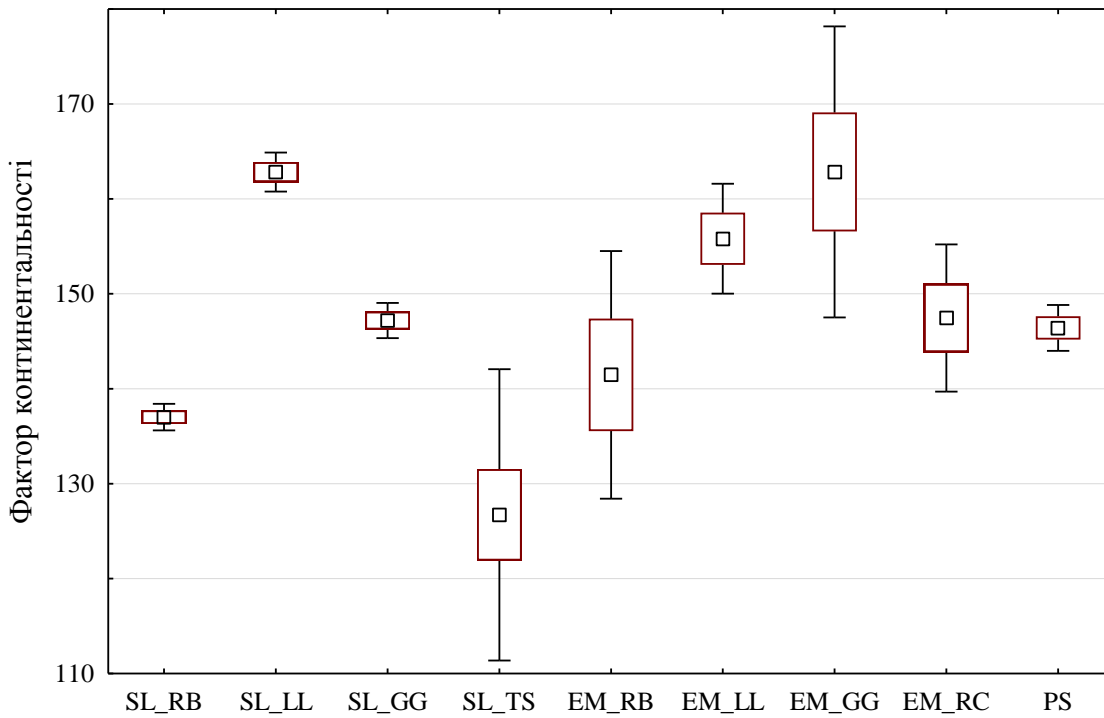
**Континентальність клімату та особливості ґрунтогенезу техноземів**

Протягом ґрунтогенезу фітоіндикаційні оцінки континентальності клімату зменшуються ( $F = 2.45$ ,  $p = 0.05$ ). Ембріоземи характеризуються показниками континентальності  $151.5 \pm 2.3$  (95 % довірчий інтервал  $118.7-175.2$ ), що відповідає субконтинентальному клімату. Дерново-літогенні ґрунти та педоземи мало розрізняються за цим показником ( $148.9 \pm 0.6$  та  $146.4 \pm 0.6$  відповідно). Їх показник континентальності відповідає геміконтинентальному клімату. У межах кожного типу технозему спостерігаються значні відмінності у показниках континентальності (рис. 8).

Серед ембріоземів найбільший показник континентальності характерний для сіро-зелених глин, а серед дерново-літогенних ґрунтів – для лесоподібних суглинків. У свою чергу найменші показники континентальності серед ембріоземів характерні для червоно-бурих глин. Низькі показники континентальності властиві для дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах та на технологічній суміші гірських порід.

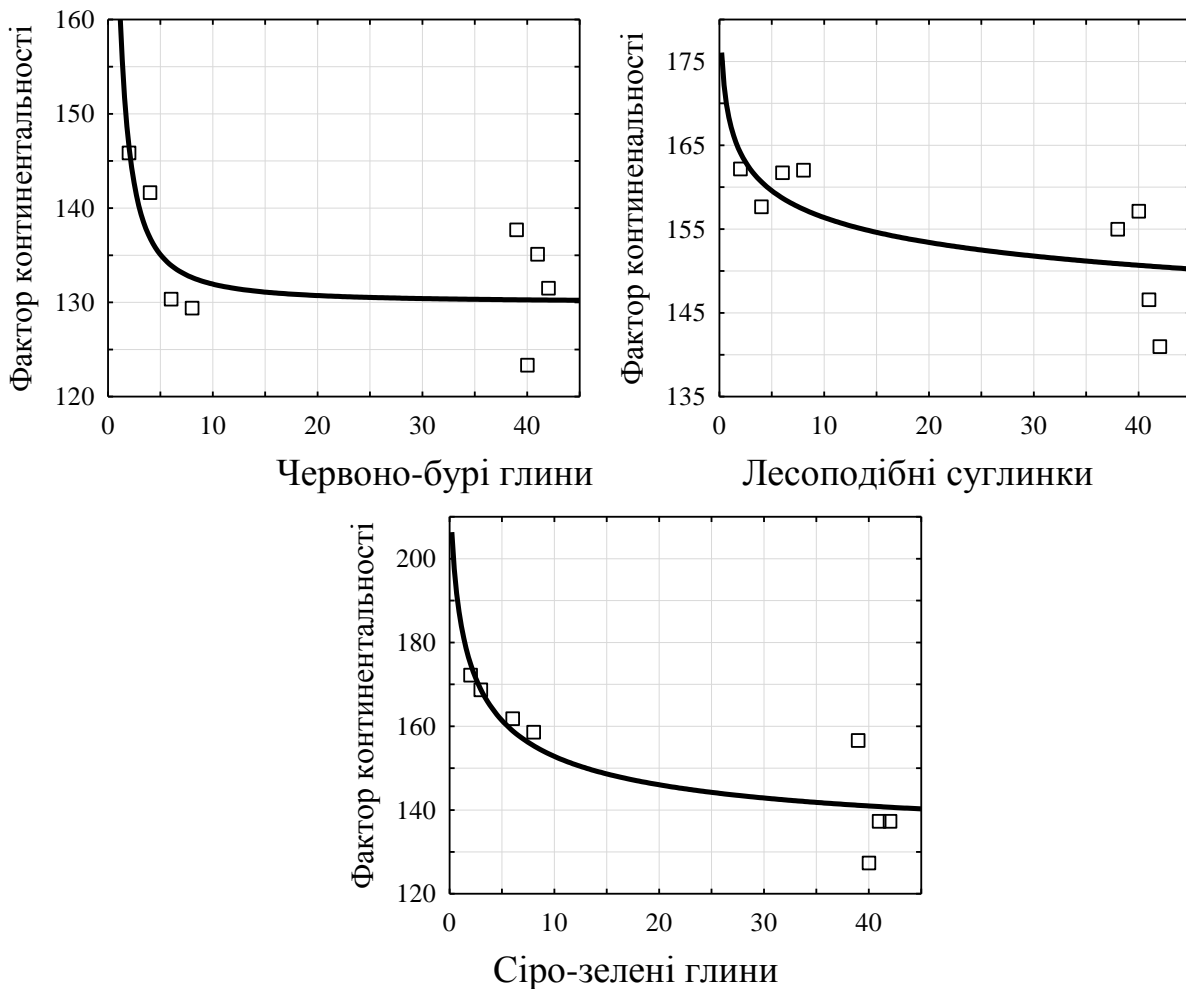
Протягом часу ґрунтогенезу техноземів фітоіндикаційні оцінки континентальності клімату демонструють чітку тенденцію до зменшення та стабілізації показників (рис. 9).





**Рис. 8. Фітоіндикаційна оцінка континентальності клімату**

Умовні позначки: див. рис. 2



**Рис. 9. Динаміка фітоіндикаційних оцінок континентальності техноземів у процесі ґрунтогенезу**

Кількісні характеристики динаміки, одержані як параметри моделі Хілла, мають високий рівень подібності для різних типів техноземів (табл. 3). Стаціонарний рівень фітоіндикаційної оцінки фактору континентальності становить 127.9–130.2. Терміни досягання половини цього рівня

становлять 14.4–17.0 років. Синхронний характер динаміки показників континентальності для угруповань рослинності, які сформовані на різних типах техноземів можна пояснити тим, що превалюючим драйвером таких змін є клімат.

### 3. Рівняння динаміки фітоіндикаційних оцінок континентальності техноземів ( $Y$ ) у часі ґрунтогенезу ( $x$ )

Субстрат	Рівняння	Число Хілла	$T_{50}$ , років	Фактор континентальності
Червоно-бурі глини	$Y = 130.2 + 100 * x^{-1.43} / (x^{-1.43} + 1.86)$	1.34	14.4	130.2
Лесоподібні суглинки	$Y = 128.8 + 100 * x^{-0.23} / (x^{-0.23} + 1.64)$	1.78	17.0	128.8
Сіро-зелені глини	$Y = 127.9 + 100 * x^{-1.63} / (x^{-1.63} + 0.79)$	1.68	14.5	127.9

Вірогідна складність механізмів, які приводять до спостережуваної динаміки фітоіндикаційних оцінок континентальності, можна охарактеризувати за допомогою чисел Хілла. Цей параметр вказує на те, що найбільш складна динаміка характерна для техноземів сіро-зелених глинах, а найпростіша – для техноземів на червоно-бурих глинах. Але слід відзначити, що загальний рівень варіювання чисел Хілла незначний (1.34–1.78), що свідчить про превалювання чинників динаміки, які мають загальне походження для усіх типів техноземів.

#### Кріоклімат техноземів

Кріоклімат (або кріорежим) відображає ступінь морозності клімату. Кількісно цей показник характеризується середньою

температурою найхолоднішого місяця у році. На основі фітоіндикації ми отримуємо показники, які характеризують приземну поверхню та верхні шари ґрунту [7].

Ембріоземи характеризуються статистично більш високими показниками кріоклімату, ніж дерново-літогенні ґрунти та педоземи ( $F = 10.9$ ,  $p = 0.00$ ). Для ембріоземів температура найхолоднішого місяця становить  $-2.73 \pm 0.30^\circ\text{C}$  (довірчий інтервал  $-6.35$ –  $0.53^\circ\text{C}$ ). Для дерново-літогенних ґрунтів та педоземів цей показник складає  $-4.83 \pm 0.08^\circ\text{C}$  (довірчий інтервал  $-10.88$ –  $1.31^\circ\text{C}$ ). За даними метеостанції у м. Нікополь за період 1966–2014 рр. середня температура найхолоднішого місяця становить  $-3.97 \pm 0.41^\circ\text{C}$  (довірчий інтервал  $-9.97$ –  $-0.25^\circ\text{C}$ ).

Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

Фітоіндикаційна оцінка температури найхолоднішого місяця для еμβріоземів статистично вірогідно відрізняється від такого показника, одержаного інструментальними методами ( $F = 1.85$ ,  $p = 0.03$ ). Фітоіндикаційні оцінки для дерново-літогенних та ґрунтів та педоземів співпадають з результатами інструментальних вимірювань ( $F = 1.47$ ,  $p = 0.18$  та  $F = 1.29$ ,  $p = 0.28$  відповідно).

Відмінності між техноземами

серед еμβріоземів за оцінками кріоклімату статистично вірогідні ( $F = 3.12$ ,  $p = 0.03$ ). Більші значення оцінок найхолоднішого місяця року характерні для червоно-бурих та сірозелених глин, а відповідно менші – для лесоподібних та червоно-бурих суглинків (рис. 10). Техноземи серед дерново-літогенних ґрунтів також статистично вірогідно відмінні за фітоіндикаційними оцінками кріоклімату ( $F = 15.23$ ,  $p = 0.00$ ).

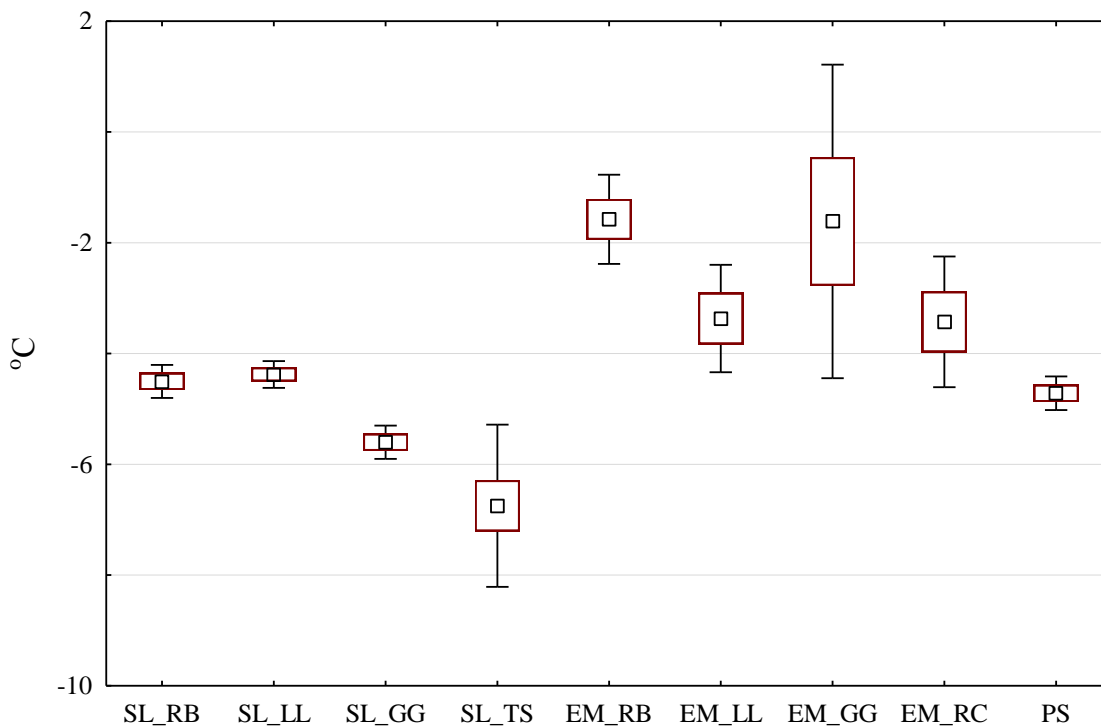


Рис. 10. Фітоіндикаційна оцінка кріоклімату (середня температура найхолоднішого місяця)

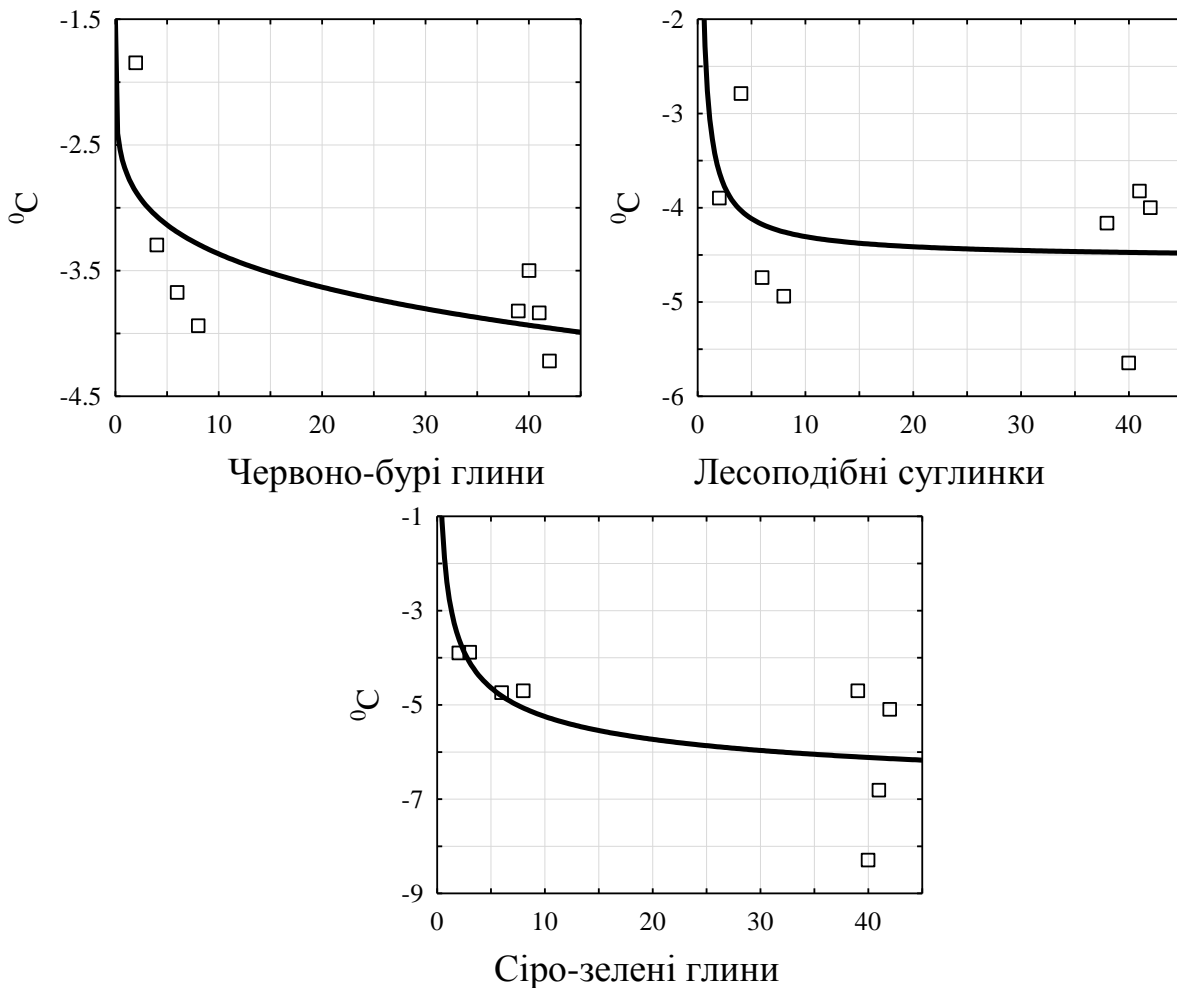
Найвищими оцінками характеризуються дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах та лесоподібних суглинках, а найменшим – на технологічній суміші гірських порід. Відповідно, дерново-літогенні ґрунти на сірозелених глинах займають перехідне

положення. Таким чином, протягом періоду ґрунтогенезу на техноземах формуються рослинні угруповання, які певною мірою приходять у відповідність з умовами навколишнього кліматичного оточення. Це проявляє себе у тому, що фітоіндикаційні оцінки

Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

кріоклімату досить чітко відповідають вимірюванням за допомогою метеорологічних приладів.

Динаміка у часі показників кріоклімату має характер асимптотичного тяжіння до стаціонарного стану (рис. 11).



**Рис. 11. Динаміка фітоіндикаційних оцінок кріоклімату техноземів у процесі ґрунтогенезу**

Найшвидше стабілізація відбувається у рослинних угрупованнях на лесоподібних суглинках, а найдовше – на червоно-бурих глинах.

Складність механізмів динаміки за числом Хілла найбільша в техноземах на сіро-зелених глинах, найменша – в лесоподібних суглинках (табл. 4).

**4. Рівняння динаміки фітоіндикаційних оцінок кріоклімату техноземів (Y) у часі ґрунтогенезу (x)**

Субстрат	Рівняння	Число Хілла	T <sub>50</sub> , років	°C
Червоно-бурі глини	$Y = -4.52 + 100 * x^{0.18} / (x^{0.18} - 84.02)$	1.14	30.6	-4.52

Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

Лесоподібні суглинки	$Y = -4.55 + 100 * x^{-0.83} / (x^{-0.83} + 59.70)$	0.67	10.9	-4.55
Сіро-зелені глини	$Y = -7.55 + 100 * x^{-0.34} / (x^{-0.34} + 19.04)$	1.69	20.0	-7.55

Кріорежим характеризує кліматичні умови у період зимового спокою рослин. Рівень морозності визначає глибину промерзання ґрунту та необхідні адаптації до впливу цього важливого екологічного чиннику. Кріорежим також має важливо значення у ґрунтогенезі. Замерзання та танення води в ґрунті створює умови для абіотичного утворення шпар та формування агрегатів. Кріогенний фактор є важливим у процесах вивітрювання.

Протягом періоду 1966–2013 рр. середні температури найхолоднішого місяця (січень або лютий) залишались стаціонарними та не демонстрували статистично вірогідного тренду. Таким чином, завищені оцінки кріоклімату на основі фітоіндикації слід розглядати як результат «не налаштування» приладу для вимірювання, яким є рослинний покрив. Рослинне угруповання на перших етапах ґрунтогенезу формується за рахунок більш чутливих до фактору морозності видів. Можна припустити, що особливості адаптації до умов морозності клімату пов'язані з іншими адаптаціями, які визначають потенціал розселення та впливають на заселення нових місцеперебувань, які є ембріоземи. Так, серед рослинних угруповань техноземів екологічний оптимум

однорічників за фактором кріоклімату статистично вірогідно вищий, ніж дво- або багаторічників ( $F = 3.18$ ,  $p = 0.04$ ). Екологічний оптимум однорічників становить  $8.69 \pm 1.22$  (62 види), дворічників –  $8.35 \pm 0.94$  (13 видів), багаторічників –  $8.16 \pm 1.19$  (61 вид).

Таким чином, сукцесія рослинних угруповань, протягом якої однорічники заміщуються на дво- та багаторічні види супроводжується зміною кріопреференцій цих видів. Очевидно, невідповідність між адаптаціями до морозності клімату піонерних угруповань можуть виступати у якості додаткового фактору дестабілізації рослинності.

### Висновки

1. У якості маркерів регуляторних екосистемних сервісів у процесі техногенного ґрунтогенезу можуть бути застосовані фітоіндикаційні оцінки термоклімату, континентальності, кріоклімату та обмроклімату.

2. Поверхня ембріоземів одержує більшу кількість сонячної радіації, ніж поверхня дерново-літогенних ґрунтів, а поверхня останніх одержує більше тепла, ніж педоземи. Більш щільний рослинний покрив, який здатний розвиватися на все більш родючому ґрунті, створює більш виразний ефект екранування. Протягом ґрунтогенезу фітоіндикаційні оцінки радіаційного



Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

балансу знижуються та асимптотично наближаються до стаціонарних рівнів.

3. Омброклімат ембріоземів можна охарактеризувати як такий, що сприяє мезоаридофітам, а омброклімат дерново-літогенних ґрунтів та педоземів сприяє субаридофітам. Стабілізація омброрежиму є умовою стійкого функціонування техногенної ґрунтової екосистеми.

4. Протягом ґрунтогенезу фітоіндикаційні оцінки континентальності вказують на зменшення контрастності мікрокліматичних умов. Для

угруповань рослинності, які сформовані на різних типах техноземів, встановлений синхронний характер динаміки показників континентальності.

5. Протягом періоду ґрунтогенезу на техноземах формуються рослинні угруповання, які певною мірою приходять у відповідність з умовами навколишнього кліматичного оточення. Це проявляє себе у тому, що фітоіндикаційні оцінки кріоклімату досить чітко відповідають вимірюванням за допомогою метеорологічних приладів.

### References

1. Albrecht, M., Schmid, B., Hautier, Y., Müller, C.B. (2012). Diverse pollinator communities enhance plant reproductive success. *Proceedings of the Royal Society of London B* 279, 4845–4852. doi: 10.1098/rspb.2012.1621.
2. Bekarevich, N.E., Masuk, N.T., Gorobets, N.D. (1971). Natural conditions of the Nikopol manganese ore basin. About land reclamation in the steppe of Ukraine. Dnipropetrovsk, Promin, 11-20.
3. Brouwer, R., Brander, L., Kuik, O., Papyrakis, E. and Bateman, I. (2013). A synthesis of approaches to assess and value ecosystem services in the EU in the context of TEEB. University Amsterdam Institute for Environmental Studies
4. Chagnon, M., Gingras, J., DeOliveira, D. (1993). Complementary aspects of strawberry pollination by

- honey and indigenous bees (Hymenoptera). *Journal of Economic Entomology* 86(2), 416–420. <https://doi.org/10.1093/jee/86.2.416>
5. Daily, G. C. (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, 392 p.
6. Davitaia, F.F., Melnik, J.S. (1970). Forecasting problem of evaporation and irrigation rates. Leningrad, Gidrometizdat.
7. Didukh, Ya.P. (2011). The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv: Phytosociocentre.
8. EASAC (2015): Ecosystem services, agriculture and neonicotinoids. EASAC policy report 26. 62 S. <http://www.interacademies.net/File.aspx?id=27071>
9. Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter,

Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, C., Ramankutty, N., Snyder, P.K., 2005. Global consequences of land use. *Science* 309, 570. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>.

10. Gallai, N., Salles, J.-M., Setteled, J., Vaissière, B.E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*. 68, 810–821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>

11. Goleusov, P.V., Lisetzky, F.N. (2009). Regeneration of soils in anthropogenically disturbed landscapes of forest-steppe zone. *GEOS, Moscow*

12. Greenleaf, S., Williams, N.M., Winfree, R. (2007). Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia* 153, 589–596. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0752-9>

13. Klein A., Steffan-Dewenter I. and Tscharntke T. (2003). Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society of London B* 270, 955–961.

14. Klein, A.M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London B* 274(1608), 303–313. DOI: 10.1098/rspb.2006.3721

15. Leonhardt, S. D., Gallai, N., Garibaldi, L. A., Kuhlmann, M., Klein, A. M. (2013). Economic gain, stability of pollination and bee diversity decrease

from southern to northern Europe. *Basic and Applied Ecology*, 14, 461–471. <http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2013.06.003>

16. Losey, J. and Vaughan, M. (2006). The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience*, 56, 311–323.

17. Maslikova, K.P. (2017). The ecological structure of technosol vegetation of the Nikopol manganese ore basin. *Bulletin of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University*. 4 (46), 77–88.

18. Masuk, N.T. (1974). Features of formation of natural and cultural phytocenoses overburden rocks in areas of industrial mining. *Land reclamation. Dnipropetrovsk*, 62–105.

19. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.

20. Pimentel, D., Wilson, C., McCullum, C., Huang, R., Dwen, P., Flack, J., Tran, Q., Saltman, T., Cliff, B. (1997). Economic and environmental benefits of biodiversity. *Bioscience* 47 (11), 747–757. <https://doi.org/10.2307/1313097>

21. TEEB (2010). The economics of ecosystems and biodiversity for national and international policymakers.

22. The EU Biodiversity Strategy to 2020 doi: 10.2779/39229

23. Tsyganov, D.N. (1983). *Phytoindication of ecological factors in the subzone of mixed coniferous–broad-leaved forests*. Moscow: Nauka.

24. Zhukov O.V., Zadorozhna, G.O., Maslikova K.P., Andrushevych K.V., Lyadskaya I.V. *Tehnosols Ecology: Monograph*. Dnipro: Zhurfond. 2017, 442 p. (in Ukrainian)

Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

25. Zhukov, O. V., Pelina, T. O. (2018). Agroecological analysis of winter wheat yield and it's dynamics in the Dnipropetrovsk region (period 1966–2016). *Agrology*, 21(3), 286–293.

26. Zhukov, O. V., Pelina, T. O., Demchuk, O. M., Demchuk, N. I., &

Koberniuk, S. O. (2018). Agroecological and agroeconomic aspects of the grain and grain legumes (pulses) yield dynamic within the Dnipropetrovsk region (period 1966–2016). *Biosystems Diversity*, 26(2), 170–176. doi:10.15421/011826

**DYNAMICS OF THE REGULATORY ECOSYSTEM SERVICE FOLLOWING THE TECHNOGENIC SOIL FORMING PROCESS IN NIKOPOL MANGANESE ORE BASIN**

**A. V. Zhukov, K. P. Maslikova, D. V. Kovalenko**

**Abstract.** *The paper shows the possibility of indication for regulatory ecosystem services following the technogenic soil forming process using phytoindicator estimates of the termoclimate, continentality, crioclimate and ombroclimate. The field studies were conducted during the 2008-2017 biennium. Bioecological research station in the Dnieper agro-economic University (Pokrov city, Dnepropetrovsk region, Ukraine). Polygons incorporated within tehnosols four types: pedozem, sod-lithogenic soils on losses-like loam, gray-green clay and red-brown clay. Found that embriozems surface receives more solar radiation than the surface of the sod-lithogenic soil surface and the last gets more heat than pedozems. More dense vegetation that is able to develop more fertile soil, creates a distinct effect shielding. During soil forming processes phytoindicator evaluation of the radiation balance are falling and asymptotically approaching to a stationary level. Ombroclimate of the embriozems can be described as such, contributes with mezoarydophytes and*

*ombroclimate of the sod lithogenic soils and pedozems promotes subarydophytes. Stabilization of the ombroclimate condition is stable operation of man-made soil ecosystem. Obtained evidence that during soil forming processes the estimates of the continentality indicate decrease contrast micro-climatic conditions. For groups of vegetation, which are formed on different technosol types mounted simultaneous dynamics of continental character.*

**Keywords:** *ecosystem services, reclamation, phytoindication, termoclimate, ombroclimate, crioclimate, continentality*

**ДИНАМИКА РЕГУЛЯТОРНЫХ ЭКОСИСТЕМНЫХ СЕРВИСОВ В ТЕЧЕНИИ ТЕХНОГЕННОГО ПОЧВОГЕНЕЗА В ТЕХНОЗЕМАХ НИКОПОЛЬСКОГО МАРГАНЦЕВОРУДНОГО БАССЕЙНА**

**А. В. Жуков, К. П. Масликова, Д. В. Коваленко**

**Аннотация.** *В работе показана возможность индикации регуляторных экосистемных сервисов в процессе техногенного почвогенеза с помощью фитоиндикационных оценок термоклимата, континентальности, криоклимата и обмроклимата. Полевые исследования проводились в течение*

Жуков О. В., Маслікова К. П., Коваленко Д. В.

2008-2017 гг. в исследовательской биоэкологической станции Днепропетровского аграрно-экономического университета (г. Покров, Днепропетровская область, Украина). Полигоны заложены в пределах четырех типов техноземов: педоземы, дерново-литогенные почвы на лессовидных суглинках, серо-зеленых глинах и красно-бурых глинах. Установлено, что поверхность эмбриоземов получает большее количество солнечной радиации, чем поверхность дерново-литогенных почв, а поверхность последних получает больше тепла, чем педоземы. Более плотный растительный покров, который способен развиваться на все более плодородной почве, создает более отчетливый эффект экранирования. В течение почвогенеза фитоиндикационные оценки радиационного баланса снижаются и асимптотически приближаются к стационарным уровням. Омброклимат эмбриоземов можно охарактеризовать как такой, что способствует мезоаридофитам, а омброклимат дерново-литогенных почв и педоземов – как такой, что способствует субаридофитам. Стабилизация омброрежима является условием устойчивого функционирования техногенной почвенной экосистемы. Получены свидетельства, что в течение педогенеза фитоиндикационные оценки континентальности указывают на уменьшение контрастности микроклиматических условий. Для сообществ растительности, сформированных на различных типах

техноземов, установлен синхронный характер динамики показателей континентальности. В течение периода педогенеза на техноземах формируются растительные сообщества, которые в определенной степени приходят в соответствие с условиями окружающего климатического окружения. Это проявляет себя в том, что фитоиндикационные оценки криоклимата достаточно четко соответствуют измерениям, полученных с помощью метеорологических приборов.

**Ключевые слова:** экосистемные сервисы, рекультивация, фитоиндикация, термоклимат, омброклимат, криоклимат, континентальность