

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

УДК 622.882+631.425+631.427

## ДИНАМІКА ВМІСТУ КАРБОНАТІВ ТА ЗАСВОЮВАНИХ ФОРМ АЗОТУ ПРОТЯГОМ ТЕХНОГЕННОГО ҐРУНТОГЕНЕЗУ В ТЕХНОЗЕМАХ НІКОПОЛЬСЬКОГО МАРГАНЦЕВОРУДНОГО БАСЕЙНУ

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

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*

*E-mail: mkaterina@ukr.net*

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

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

*E-mail: zhukov\_dnipro@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 вмісту карбонатів та засвоюваних форм азоту. 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. У роботі наведені свідчення того, що процеси накопичення карбонатів у техноземах мають безпосереднє відношення до іммобілізації атмосферного карбон діоксиду як зворотний механізм явищ парникового ефекту, що слід

розглядати як важливий екосистемний сервіс антропогенних ґрунтів. Цей екосистемний сервіс саме молодих техногенних ґрунтів виконує значну позитивну функцію як фактор протидії парниковому ефекту та глобальним змінам клімату. Показано, що протягом ґрунтогенезу вміст засвоюваних форм азоту в техноземах демонструє динаміку збільшення з тенденцією до досягнення стаціонарного стану. Фактор субстрату є дуже важливим для перспективного визначення потенціальної родючості техноземів. У цьому контексті найкращі перспективи у лесоподібних суглинках та червоно-бурих глин, навіть порівняно з педоземами.

**Ключові слова:** екосистемні сервіси, рекультивация, фітоіндикація, карбонати, засвоювані форми азоту

Сучасне вчення про біосферу є значним емпіричним узагальненням

В. І. Вернадського [20], відповідно до уявлень якого біосфера включає у

Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В. себе не тільки область життя, але й інші структури Землі, які генетично пов'язані з живою речовиною [19]. Якщо біосфера є глобальним біотопом, то глобальним біоценозом є геомеріда [2]. Геомеріду також розглядають як єдиний організм всієї Землі [11]. Дещо загальні уявлення у галузі філософії біології початку ХХ століття набувають особливого значення у наш час, коли глобальні зміни клімату викликають синхронізовані зміни в живих системах різного ієрархічного рівня [24].

У час науково-технічного прогресу ґрунт, як і біосфера в цілому, перетворилися із саморегульованих систем в системи, які функціонують під тотальним впливом антропогенних факторів [23]. 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 [6].

Концепція ноосфери академіка В. І. Вернадського [20] 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. 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. С. В. Зонн та А. П. Травлеєв [26] 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 [3]. Видобуток корисних копалин відкритим способом призводить до повного руйнування ґрунтового покриву – основи біогеоценозу, а також знищує фіто-, зоо- та мікробіоценозні блоки біогеоценозу [1]. 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 [23].

Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В. Антропогенний вплив на ґрунт проявляється в його техногенному руйнуванні внаслідок добування корисних копалин відкритим способом [22]. При цьому повністю знищуються ґрунтовий покрив, культурна і природна рослинність, а на зміну їм приходять «місячний ландшафт» – відвали, нерідко з токсичних порід, що призводить до забруднення природного середовища, тобто атмосферного повітря, вод, ґрунтово-рослинного покриву продуктами вивітрювання глибинних порід [8]. Відбувається запилення водного і повітряного басейнів, залучення в техногенний процес ландшафтоутворення, екологічно не властивих, а частіше біологічно шкідливих геохімічних елементів, які виносяться на поверхню в кількості, що набагато перевищує їх вміст у звичайному кругообігу [17]. Встановлено, що порушені ділянки несприятливо впливають на територію, приблизно в 10 разів перевищують площу безпосереднього порушення [24]. Також відкриті розробки викликають значні зміни гідрологічного режиму території [12].

Основне завдання рекультивації полягає у тому, щоб довести порушені землі до стану, придатного для їх використання у сільському, лісовому, рибному господарствах, для промислового та комунального будівництва, створення тепличних господарств і зон відпочинку, тобто

за призначенням [6]. Рекультивація також має соціальне значення – виховання бережливого ставлення до природних ресурсів. Головною метою рекультивації є відтворення продуктивності порушених територій і повернення їх у використання, що передбачає проведення комплексу інженерних, гірничотехнічних, меліоративних, сільськогосподарських та лісогосподарських робіт [14]. Комплекс робіт включає заходи по покращенню навколишнього середовища, які усувають негативні фактори – забруднення ґрунтів, ґрунтових вод, трансформацію деградованих форм рельєфу та ін. У цьому відношенні рекультивація земель ототожнюється з поняттям ландшафтно-екологічної ґрунтової конструкції – реставрації або формуванні нового культурного ландшафту [10].

При створенні різних ґрунтових конструкцій у процесі рекультивації земель часто не беруться до уваги можливі віддалені наслідки, які можуть виникнути у зв'язку з особливостями клімату, літології, гідрології та інших техногенних ландшафтів [13]. У результаті функціонування цих конструкцій відбуваються значні зміни фізичних властивостей та процесів, які протікають в рекультиваційному кореневому шарі. У зв'язку з цим постає актуальна необхідність вивчення властивостей та процесів у

Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В. рекультиваційних ґрунтових конструкціях, в аналізі їх сучасного стану та прогнозу еволюції з урахуванням цільового спрямування ґрунтової конструкції та особливостей конкретних умов [24].

Ціллю нашої роботи показати можливість індикації регуляторних екосистемних сервісів протягом техногенного ґрунтогенезу за допомогою фітоіндикаційних оцінок вмісту карбонатів та засвоєваних форм азоту.

**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. Відомості про динаміку заростання відвалів на фазі формування ембріоземів протягом першого періоду сукцесії (2, 4, 6, 8 років) взяті з роботи М. Т. Масюка [14]. Відомості про стан рослинного угруповання на техноземах віком 39, 40, 41 та 42 роки – власні експериментальні результати [12]. 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 засвоєваних форм азоту ( $Nt$ ). До кліматичних належать шкали за чотирма факторами: терморежим ( $Tm$ ), омброрежим ( $Om$ ), кріорежим ( $Cr$ ) 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

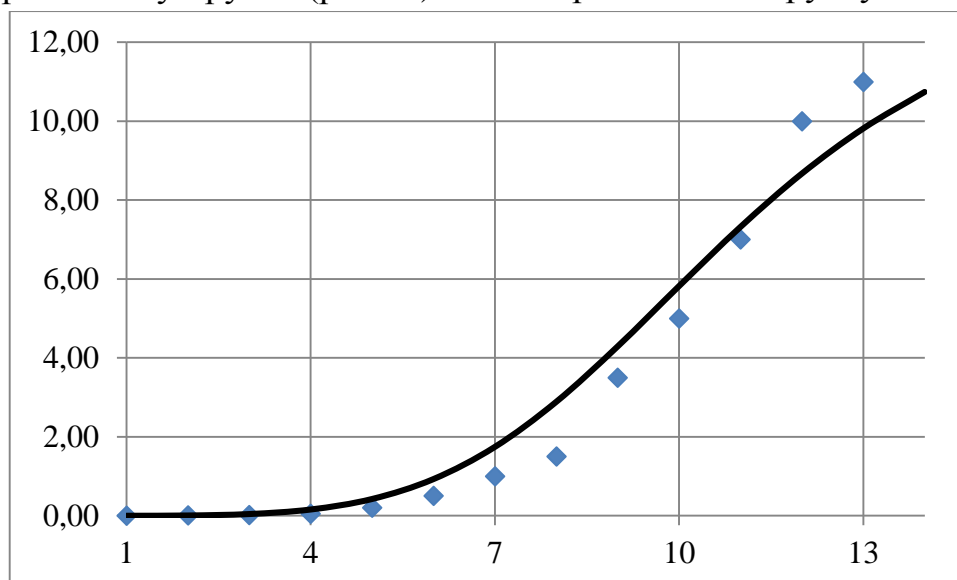
Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В. на рівні окремої точки, що може бути основою для застосування фітоіндикаційних шкал для великомасштабного картографування. Теплові властивості ґрунтів індикуються шкалою терморезиму, а гідротермічні – шкалою омборезима [7].

Одним із найважливіших показників, на який чутливо реагує рослинність, є вміст карбонатних солей, що виявляється у їх кількості у ґрунті та характері покладів, що виходять на поверхню і відслонюються. Шкала груп видів рослин за їх відношенням до вмісту карбонатів складається з 13 балів. Кожному показнику карбонатоморф поставлене у відповідність значення вмісту карбонатів у ґрунті (рис. 1).

Я.П.Дідух [7] відмічає, що кількісні показники вмісту карбонатів для цієї шкали ще недостатньо розроблені, але наведені закономірності вмісту карбонатів свідчать про логарифмічну залежність цього показника від бальної оцінки. Наші розрахунки показують, що залежність між показниками карбонатоморф та карбонатністю ґрунту можна апроксимувати рівнянням Хілла:

$$Y = 14.1 \cdot \frac{X^{4.5}}{X^{4.5} + 45000}$$

де  $Y$  – карбонатність ґрунту (уміст карбонатів у перерахунку на  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , в %);  $X$  – показник карбонатоморф. Цю залежність ми застосовували для перерахунку фітоіндикаційних оцінок в показник карбонатності ґрунту.



**Рис. 1.** Залежність між фітоіндикаційними оцінками карбонатності (ось абсцис) та вмістом карбонатів у ґрунті (ось ординат, уміст карбонатів у перерахунку на  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , в %, точки – за Didukh [7]; лінія – апроксимація за нашою моделлю)

Одним із найважливіших показників трофності ґрунту є показник вмісту в ньому засвоюваних форм азоту ( $Nt$ ). Колообіг азоту і його



Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В. перетворення від органічних форм до мінеральних відбувається в процесі передачі його трофічним ланцюгом, що пов'язано з трансформацією енергії [7]. Проте складність визначення азоту полягає у тому, що він перебуває у ґрунті у різних формах, як в органічних, так і мінеральних сполуках, які легко-, важко- або зовсім не гідролізуються, тобто як доступних, так і недоступних для засвоєння рослинами. Недоступні для засвоєння форми азоту можуть розкладатись з різною швидкістю, що залежить не лише від фізичного та хімічного складу ґрунту, а й від характеру рослинного покриву, активності мікроорганізмів, діяльності яких пов'язана з кліматичними умовами, зокрема сезонністю. Специфічні виділення рослин через кореневу систему інтенсивно впливають на процес розкладання, що забезпечує задоволення потреб рослин у азоті. Разом з тим наявність доступних форм азоту лімітує зростання багатьох видів [7]. Кожному показнику нітроморф поставлене у відповідність значення вмісту карбонатів у ґрунті (рис. 2). Наші розрахунки показують, що залежність між фітоіндикаційними показниками

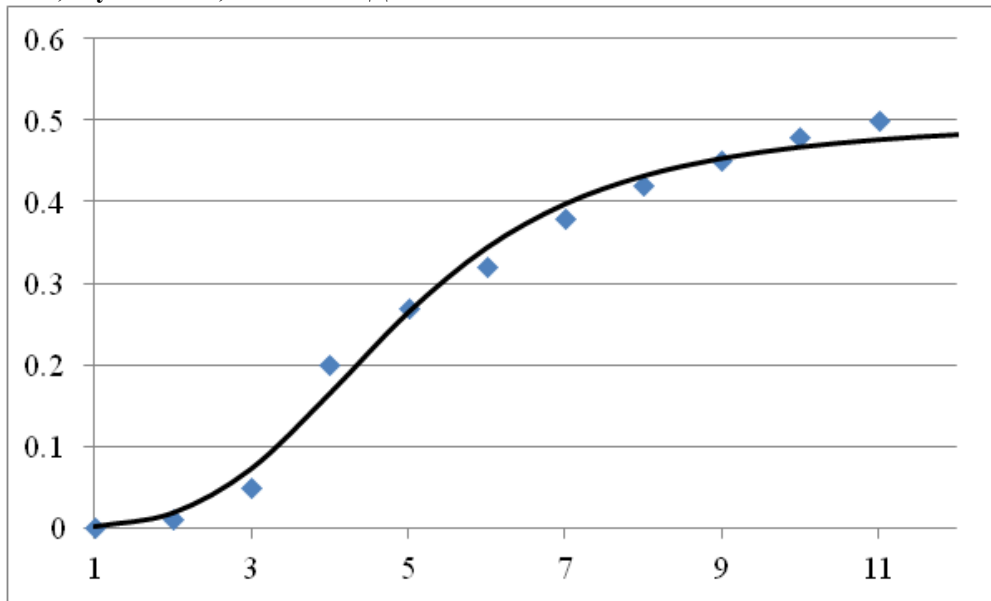
нітроморф та вмісту засвоюваних форм азоту можна апроксимувати рівнянням Хілла:

$$Y = 0.5 \cdot \frac{X^{3.7}}{X^{3.7} + 345}$$

де  $Y$  – вміст засвоюваних форм азоту (N, в %);  $X$  – показник нітроморф.

### Результати

Фітоіндикаційне оцінювання вказує на варіювання рівня карбонатності дерново-літогенних ґрунтів та педоземів у діапазоні умов, які сприятливі від акарбонатofilів до гемікарбонатofilів. За Дідухом [7] акарбонатofilи зростають на нейтральних екотопах і витримують незначний вміст карбонатів у ґрунті (за [7] уміст карбонатів у перерахунку на оксиди CaO, MgO = 0,5–1,5 %), які, завдяки промивному режиму, не піднімаються у верхні шари. Це, солонці, солончаки, де карбонатна основа заміщується сульфатами й хлоридами. Гемікарбонатofilи зростають на чорноземах, достатньо збагачених карбонатами (за [7] уміст карбонатів у перерахунку на оксиди CaO, MgO = 1,5–5,0 %), що не вимиваються і можуть траплятись у вигляді невеликих включень, конкрецій [7].



**Рис. 2.** Залежність між фітоіндикаційними оцінками азотного живлення (ось абсцис) та вмістом засвоюваних форм азоту в ґрунті (ось ординат, %; точки – за [7]; лінія – апроксимація)

Найменший рівень вмісту літогенних ґрунтів на сіро-зелених та карбонатів характерний для дерново- на червоно-бурих глинах (табл. 1).

### 1. Фітоіндикаційні оцінки показників вмісту карбонатів в техноземах (середнє значення $\pm$ ст. помилка)

Тип технозему	Рік	Фітоіндикаційне значення	Уміст карбонатів у перерахунку на оксиди CaO, MgO, %
Дерново-літогенні на червоно-бурих глинах	2012	8.59 $\pm$ 0.06	3.73 $\pm$ 0.09
	2013	9.75 $\pm$ 0.05	5.44 $\pm$ 0.08
	2014	10.16 $\pm$ 0.06	6.05 $\pm$ 0.09
Дерново-літогенні на лесоподібних суглинках	2012	10.52 $\pm$ 0.09	6.58 $\pm$ 0.13
	2013	10.12 $\pm$ 0.05	6.00 $\pm$ 0.08
	2014	10.38 $\pm$ 0.06	6.39 $\pm$ 0.09
Педоземи	2012	10.26 $\pm$ 0.05	6.21 $\pm$ 0.07
	2013	9.71 $\pm$ 0.06	5.38 $\pm$ 0.09
	2014	10.39 $\pm$ 0.06	6.41 $\pm$ 0.09
Дерново-літогенні на сіро-зелених глинах	2012	9.34 $\pm$ 0.07	4.82 $\pm$ 0.10
	2013	9.35 $\pm$ 0.04	4.83 $\pm$ 0.06
	2014	9.63 $\pm$ 0.06	5.26 $\pm$ 0.09

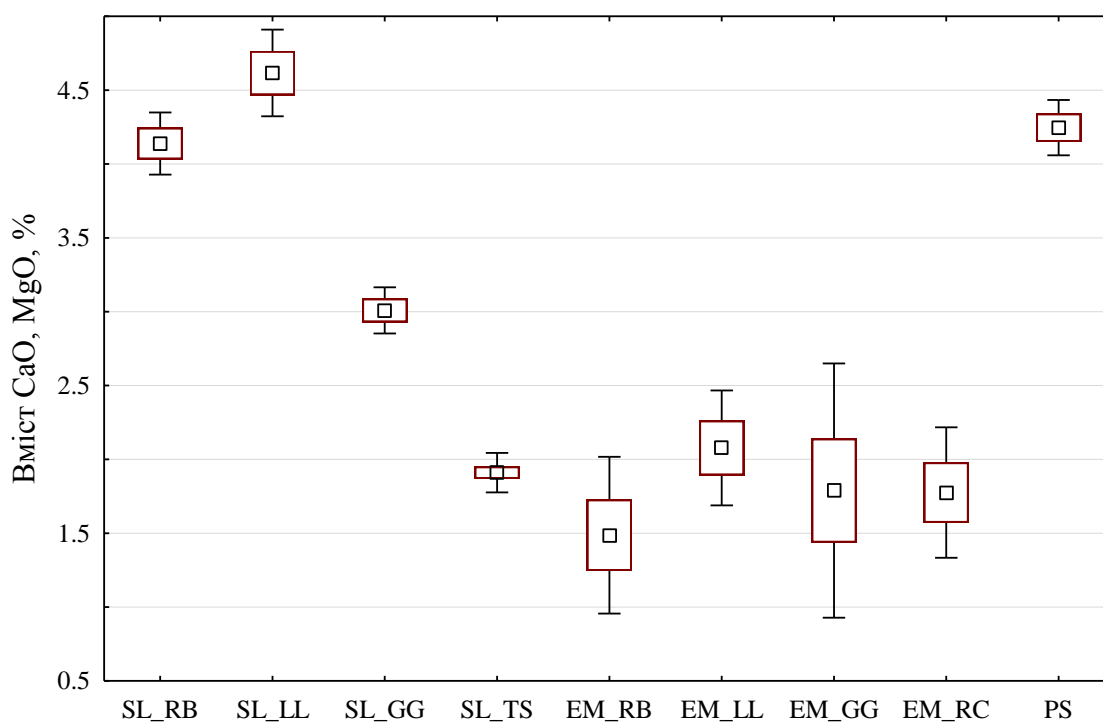
Найбільший вміст карбонатів характерний для дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках, дещо менший цей показник для педоземів. Протягом періоду спостережень фітоіндикаційні оцінки вмісту карбонатів демонстрували флуктуаційну мінливість. У 2012 та

Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В. 2013 рр. показники вмісту карбонатів були на подібному рівні, тоді як у 2014 р. спостерігалось значне збільшення цього показнику. Найбільша стійкість оцінок у часі характерна для дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках та на сіро-зелених глинах. Найбільші варіації фітоіндикаційних оцінок вмісту карбонатів характерні для дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах та педоземів.

Найбільшим позитивним коефіцієнтом кореляції фітоіндикаційна оцінка вмісту карбонатів характеризується з екологічним фактором континентальності ( $r = 0.43$ ,  $p < 0.001$ ), а найбільшим за модулем від'ємним коефіцієнтом кореляції характеризується з фактором вологості та аерацією ( $r = -0.33$ ,  $p <$

$0.001$  та  $r = -0.37$ ,  $p < 0.001$  відповідно).

У протилежність мінералізації ґрунтового розчину, вміст карбонатів протягом техногенного ґрунтогенезу, збільшується. За результатами фітоіндикації ембріоземи характеризуються значно меншим рівнем карбонатів, ніж дерново-техногенні ґрунти або педоземи ( $F = 23.1$ ,  $p = 0.000$ ). Вміст карбонатів у ембріоземах становить  $1.8 \pm 0.11$  %, а в дерново-літогенних ґрунтах –  $3.9 \pm 0.07$  %. Ще вище цей показник в педоземах –  $4.2 \pm 0.09$  %. Серед ембріоземів відмінності у вмісті карбонатів статистично вірогідно не розрізняються ( $F = 1.3$ ,  $p = 0.28$ ). Вміст карбонатів у дерново-літогенних ґрунтах та педоземах суттєво відмінний ( $F = 34.9$ ,  $p = 0.00$ ) (рис. 3).



**Рис. 3. Фітоіндикаційна оцінка вмісту карбонатів**

Умовні позначки: SL\_RB – дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах; SL\_LL –

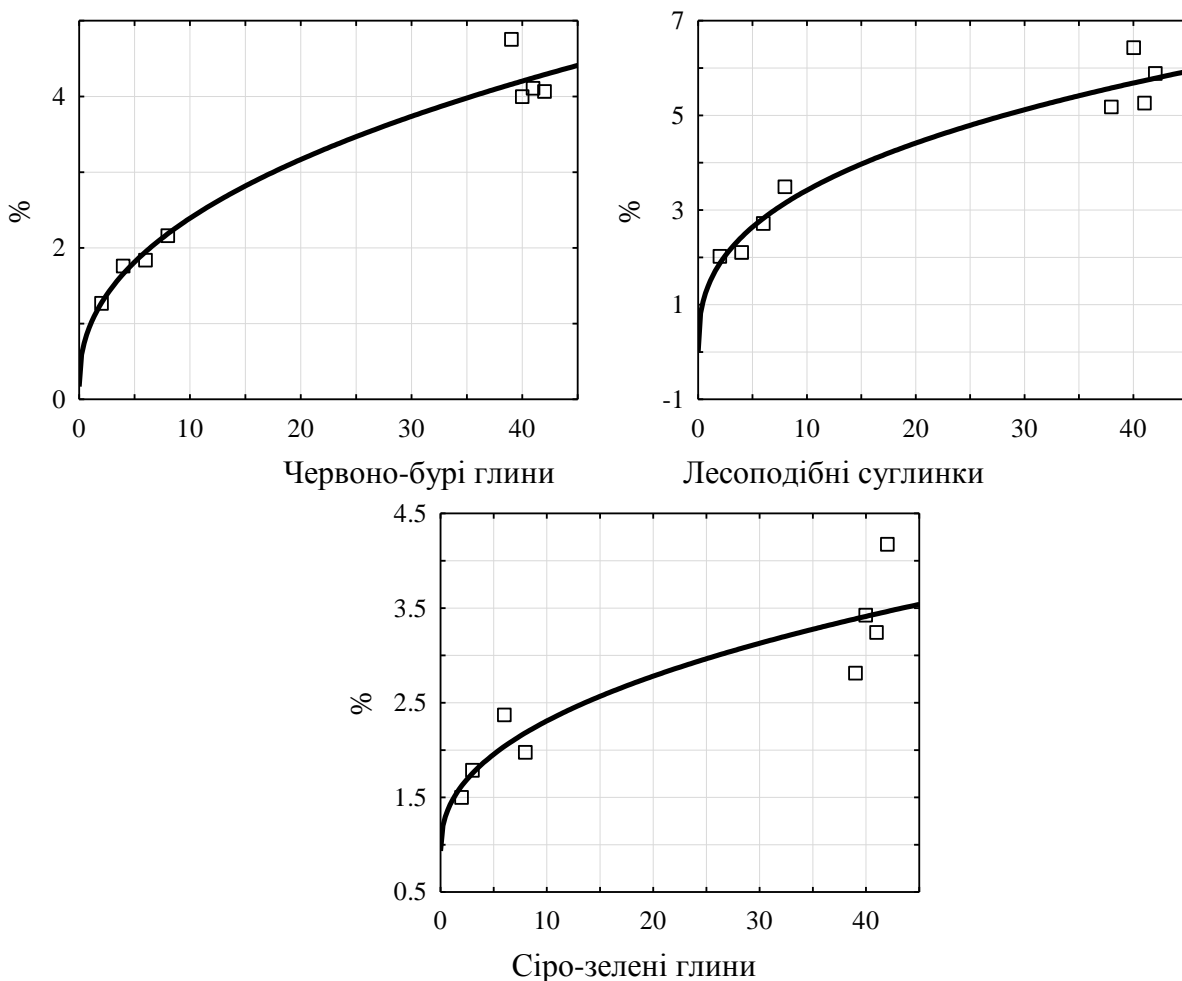


Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В.

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.

Можна припустити, що динаміка карбонатів індукована біотичними факторами. Аналіз динаміки цього показника протягом періоду педогенезу підкріплює таку гіпотезу (рис. 4). Прогнозований стаціонарний рівень карбонатів в техноземах становить 4.2–6.4 %. Термін досягнення цих показників виходить за межі дослідженого періоду. Половинне зростання рівня карбонатів для лесоподібних

суглинків потребує 31.9 років, а для сіро-зелених глин – 42.8 років. Тобто процес накопичення карбонатів є тривалим з незначним затуханням протягом часу. Очевидно, так як стан досягнення стаціонарного режиму виходить за межі досліджуваного періоду, то реальна динаміка може дещо відрізнятися від розрахованої, хоча загальні тенденції є дуже консервативними.



**Рис. 4. Динаміка вмісту карбонатів у техноземах за результатами фітоіндикації в процесі ґрунтогенезу техноземів**

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

Складність факторів, які викликають відповідну динаміку, характеризується числом Хілла (табл. 2). Цей показник найбільший для лесоподібних суглинків, а найменший – для сіро-зелених глин. У якості аспектів складності у загальному вигляді ми можемо розглядати співвідношення факторів біотичної та абіотичної природи у динаміці процесів накопичення карбонатів у технозомах протягом педогенезу.

Можемо припустити, що для сіро-зелених глин переважне значення мають фактори абіотичної природи, а саме утворення тріщин внаслідок процесів набухання-усадки при намочуванні та висиханні ґрунтів. Це приводить до більшої аерації техноземів та надходженню атмосферного карбон діоксиду до сполук кальцію та магнію гірських порід та утворення карбонатів відповідних металів.

## 2. Рівняння динаміки режиму вмісту карбонатів у технозомах (Y) за результатами фітоіндикації у часі ґрунтогенезу (x)

Субстрат	Рівняння	Число Хілла	T <sub>50</sub> , років	%
Червоно-бурі глини	$Y = 0.17 + 100 * x^{0.44} / (x^{0.44} + 122)$	1.68	33.3	5.6
Лесоподібні суглинки	$Y = 1.7 + 100 * x^{0.66} / (x^{0.66} + 244)$	1.92	31.9	6.4
Сіро-зелені глини	$Y = 0.9 + 100 * x^{0.43} / (x^{0.43} + 195)$	1.12	42.8	4.2

Для лесоподібних суглинків такі процеси також характерні, але інтенсивним джерелом карбон діоксиду може бути також дихання ґрунтової біоти. Додаткове джерело карбон діоксиду як результат дихання може пояснити більш інтенсивний процес накопичення карбонатів у лесоподібних суглинках порівняно з сіро-зеленими глинами. Техноземи на червоно-бурих глинах займають проміжне положення.

Процеси накопичення карбонатів у технозомах можуть мати безпосереднє відношення до іммобілізації атмосферного карбон діоксиду як зворотний механізм явищ парникового ефекту. Емісія карбон діоксиду з ґрунтів як наслідок

дихання коренів рослин та мінералізації органічного вуглецю становить близько 275 ГТ СО<sub>2</sub>/рік [21]. Вміст неорганічного вуглецю у ґрунті представлений переважно мінералами кальцію або магнію. У процесі вивітрювання силікати кальцію та магнію реагують з розчиненим у ґрунтовому розчині оксидом вуглецю. За сприятливих умов розчинений СО<sub>2</sub> перетворюється у осад у якості вторинних карбонатних мінералів у ґрунтів [21]. Походження Са та Mg в карбонатах з силікатів робить цей процес засобом ефективного зв'язування та фіксації атмосферного СО<sub>2</sub> [4, 9, 18]. Випадіння у осад карбонатних мінералів внаслідок

Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В. вивітрювання силікатів та стабілізація атмосферного карбон діоксиду відбувається протягом геологічного часу [4, 5]. Але цей процес у природних [15] та штучних ґрунтах [16] може відбуватися значно швидше. Урбоземи демонструють потенціал поглинання карбон діоксиду 12.5 кг/т ґрунту в рік [16, 17], що свідчить про значний потенціал такого напрямку фіксації CO<sub>2</sub>. Дані по стабільним ізотопам підтвердили атмосферне походження вуглецю у мінералах кальциту, який накопичувався у міських ґрунтах. Джерелом кальцію та магнію були силікати ґрунту. Рівень зв'язування карбон діоксиду становив 85 тон/га у рік у шарі 10 см [21].

Одержані результати про збільшення карбонатності техноземів протягом ґрунтогенезу повністю кореспондуються з уявленнями про зв'язування атмосферного карбон діоксиду кальцієм та магнієм, які вивітрюються з первинних мінералів з того часу, коли гірські породи починають контактувати з денною поверхнею після заходів рекультивації. Це явище вказує на значну позитивну функцію саме молодих техногенних ґрунтів як фактору протидії парниковому ефекту та глобальним змінам клімату.

Фітоіндикаційне оцінювання вказує на варіювання рівня вмісту засвоєваних форм азоту в педоземах та дерново-літогенних ґрунтах у діапазоні умов, які сприятливі від

субанітрофілів до гемінітрофілів. За Дідухом [7] субанітрофіли зростають на слабозабезпечених мінеральним азотом оліготрофних ґрунтах, де органічні рештки швидко розкладаються, їх продукти вимиваються, і вміст мінеральних форм азоту становить 0,05–0,2 %. Гемінітрофіли зростають на середньозабезпечених мінеральним азотом ґрунтах (0,2–0,3 %). Таким чином, дефіцит азоту є характерною особливістю техноземів. Найменший рівень вмісту засвоєваних форм азоту характерний для педоземів (табл. 3). Найбільший вміст азоту встановлений для дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах та на лесоподібних суглинках, дещо менший цей показник для техноземів на сіро-зелених глинах.

Протягом періоду спостережень фітоіндикаційні оцінки вмісту засвоєваних форм азоту демонстрували флуктуаційну мінливість. У 2012 та 2013 рр. показники вмісту карбонатів були на подібному рівні, тоді як у 2014 р. спостерігалось значне збільшення цього показнику. Найбільша стійкість оцінок у часі характерна для педоземів. Найбільші варіації фітоіндикаційних оцінок вмісту засвоєваних форм азоту характерні для дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах. Найбільшим позитивним коефіцієнтом кореляції фітоіндикаційна оцінка вмісту засвоєваних форм азоту

Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В. характеризується з екологічним фактором освітлення ( $r = 0.58$ ,  $p < 0.001$ ), а найбільшим за модулем від'ємним коефіцієнтом кореляції

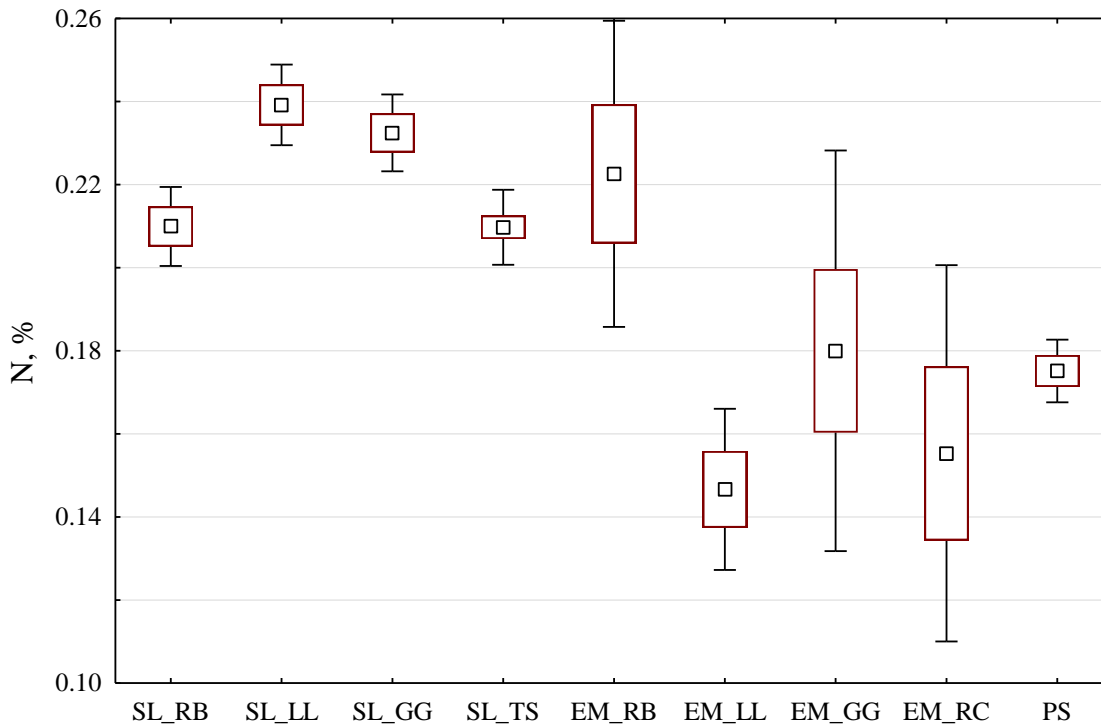
характеризується з фактором змінності режиму вологості ( $r = -0.25$ ,  $p < 0.001$ ).

### 3. Фітоіндикаційні оцінки показників вмісту засвоюваних форм азоту в техноземах (середнє значення $\pm$ ст. помилка)

Тип технозему	Рік	Фітоіндикаційне значення	Засвоювані форми азоту в ґрунті, %
Дерново-літогенні на червоно-бурих глинах	2012	4.75 $\pm$ 0.07	0.24 $\pm$ 0.006
	2013	4.89 $\pm$ 0.06	0.25 $\pm$ 0.006
	2014	9.20 $\pm$ 0.11	0.45 $\pm$ 0.002
Дерново-літогенні на лесоподібних суглинках	2012	5.21 $\pm$ 0.12	0.27 $\pm$ 0.010
	2013	4.67 $\pm$ 0.07	0.23 $\pm$ 0.007
	2014	8.29 $\pm$ 0.14	0.43 $\pm$ 0.005
Педоземи	2012	4.30 $\pm$ 0.05	0.19 $\pm$ 0.005
	2013	4.77 $\pm$ 0.09	0.24 $\pm$ 0.008
	2014	4.28 $\pm$ 0.08	0.19 $\pm$ 0.007
Дерново-літогенні на сіро-зелених глинах	2012	4.25 $\pm$ 0.06	0.19 $\pm$ 0.006
	2013	4.78 $\pm$ 0.08	0.24 $\pm$ 0.008
	2014	7.82 $\pm$ 0.11	0.42 $\pm$ 0.004

Родючість техноземів у процесі ґрунтогенезу зростає, у тому числі, змінюється вміст важливого фактору продуктивності екосистем – азоту. Вміст засвоюваних форм азоту в ебріоземах статистично вірогідно менший, ніж в дерново-літогенних ґрунтах ( $F = 53.0$ ,  $p = 0.000$ ). Слід відзначити, що відмінності у вмісті

засвоюваних форм азоту та ебріоземів не є статистично вірогідними ( $F = 0.12$ ,  $p = 0.73$ ). Таким чином, продукційний потенціал дерново-літогенних ґрунтів суттєво вищий навіть порівняно з педоземами, які створенні зі застосуванням гумусового шару (рис. 5).



**Рис. 5. Фітоіндикаційна оцінка засвоюваних форм азоту**

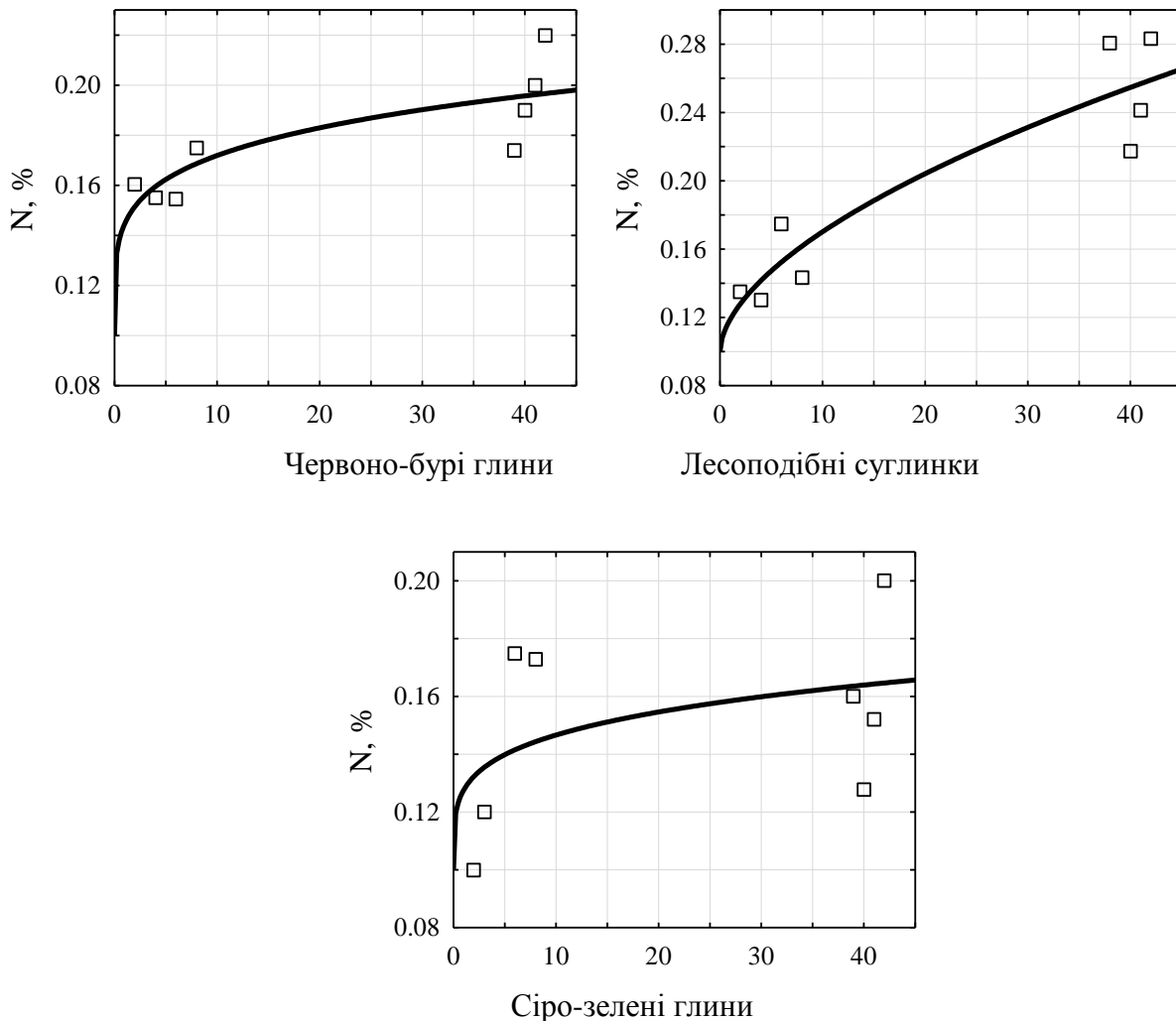
*Умовні позначки:* SL\_RB – дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах; SL\_LL – дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках; SL\_GG – дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах; SL\_TS – дерново-літогенні ґрунти на технологічній суміші гірських порід; EM\_RB – ембріоземи на червоно-бурих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

Серед ембріоземів дуже високий репродуктивний потенціал субстратів, сформованих на основі червоно-бурих глин ( $N 0.22 \pm 0.017 \%$ ). Цей показник відповідає рівню вмісту засвоюваних форм азоту в дерново-літогенних ґрунтах. Низький рівень вмісту азоту у ебріоземах супроводжується високою варіабельністю фітоіндикаційних оцінок. Вірогідно, що для субантірофілів, які переважно представлені у рослинному угрупованні на перших етапах сукцесії при самозаростанні відвалів, впливовими можуть бути інші

екологічні фактори динамічного екологічного середовища відвалів. Це пояснює варіабельність оцінок за шкалою вмісту азоту. Така варіабельність може бути як результатом варіабельності ознаки, так і результатом нестійкої чутливості угруповання до впливу цього екологічного фактору. Серед дерново-літогенних ґрунтів найбільшим рівнем забезпечення азотом характеризуються техноземи на лесоподібних суглинках та на сіро-зелених глинах. Деяко менший рівень забезпечення азотом для технозем на червоно-бурих глинах та

Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В.  
технологічній суміші глин. У останньому випадку також слід відзначити високий рівень варіабельності ознаки.

Протягом ґрунтогенезу вміст



**Рис. 6. Динаміка засвоюваних форм азоту в техноземах за результатами фітоіндикації в процесі ґрунтогенезу техноземів**

Найбільший розрахунковий рівень стаціонарного вмісту азоту характерний для лесоподібних суглинків, а найменший – для сіро-зелених глин (табл. 4.7). Термін досягнення половинного рівня від

максимального становить 29.5 років для червоно-бурих глин. Майже у два рази швидше відбувається досягнення стаціонарного стану в сіро-зелених глинах.



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

**4. Рівняння динаміки засвоєваних форм азоту в техноземах (Y) за результатами фітоіндикації у часі ґрунтогенезу (x)**

Субстрат	Рівняння	Число Хілла	T <sub>50</sub> , років	%
Червоно-бурі глини	$Y = 0.11 + 100 * x^{0.21} / (x^{0.21} + 2235)$	1.05	29.5	0.21
Лесоподібні суглинки	$Y = 0.17 + 100 * x^{0.57} / (x^{0.57} + 5310)$	1.08	25.2	0.36
Сіро-зелені глини	$Y = 0.12 + 100 * x^{0.22} / (x^{0.22} + 3617)$	0.63	12.7	0.18

Числа Хілла, які вказують на «кількість активних центрів» (за аналогією з моделюванням кінетики ферментативних реакцій) близькі за значенням для червоно-бурих глин та лесоподібних суглинків та суттєво менше для сіро-зелених глин. Таким чином, одержані моделі вказують на те, що структури чинників, які викликають динаміку засвоєваних форм азоту в техноземах найпростіша у сіро-зелених глинах. Під час сільськогосподарського етапу рекультивації до цих техноземів було внесено значну кількість добрив. Також перед періодом самозростання на техноземах виростав бобово-злаковий агроценоз, бобова компонента якого сприяє біологічному накопиченню азоту в ґрунті. Але азот – дуже лабільна компонента родючості, тому поточну ситуацію з динамікою засвоєваних форм азоту слід розглядати у контексті конкретних екологічних умов. Біотичні процеси є найважливішими для визначення потенціального родючості ґрунтів, що розвиваються. Особу роль у цих процесах відіграє органічна речовина техноземів, режим вологості, газовий режим ґрунтів, співвідношення у

просторі та часі аеробних та анаеробних умов ґрунту. Управління багатьма режимами техноземів відбувається завдяки варіюванню агрегатної структури та її водостійкості.

Розмірний розподіл агрегатних фракцій та їх водостійкість залежить від наявності органічних та неорганічних клеїв, а також від розвитку кореневих систем рослин, їх виділень та активності ґрунтових мікроорганізмів. Складний комплекс умов, обставин та режимів визначає динаміку засвоєваних форм азоту, яка встановлена нами на основі ставлення рослин до цього фактору. Одержаний результат вказує на те, що сіро-зелені глини мають обмежений потенціал зростання кількості азоту в ґрунті. Наближення до максимальних можливих рівнів азоту в цих субстратах відбувається порівняно швидко, але цей рівень значно менший, ніж у техноземах, які сформовані на лесоподібних суглинках та червоно-бурих глинах.

Фактор субстрату є дуже важливим для перспективного визначення потенціальної родючості техноземів. У цьому контексті найкращі перспективи у

Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В. лесоподібних суглинків та червоно-бурих глин, навіть порівняно з педоземами. Субстратний фактор може бути відповідальним за обмежений потенціал родючості дерново-літогенних ґрунтів на технологічній суміші гірських порід. Стосовно педоземів обмежений потенціал цього технозему ми бачимо у шаруватій його організації. Контрастні шари та як наслідок виникнення водотривкого горизонту порушує водний та повітряний режим ґрунтів та не сприяє створенню умов, сприятливих для накопичення азоту.

### Висновки

1. Процеси накопичення карбонатів у техноземах мають безпосереднє відношення до іммобілізації атмосферного карбон діоксиду як зворотний механізм

### References

1. 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.

2. Beklemishev, V.N. (1928). Organism and Community (To the Problem of Individuality in Biocoenology), Tr. Biol. nauch.-issled. in-ta i Biol. st. pri Permskom univ. 1(2-3), 12-14.

3. Belova, N.A., Travleev A. P. (1999). Natural forests and steppe soils. Dnepropetrovsk. DSU university press (in Russian).

4. Berner, R. A., Kothavala, Z. (2001). GEOCARB III: A revised model of atmospheric CO<sub>2</sub> over Phanerozoic

явищ парникового ефекту, що слід розглядати як важливий екосистемний сервіс антропогенних ґрунтів. Цей екосистемний сервіс саме молодих техногенних ґрунтів виконує значну позитивну функцію як фактор протидії парниковому ефекту та глобальним змінам клімату.

2. Протягом ґрунтогенезу вміст засвоєваних форм азоту в техноземах демонструє динаміку збільшення з тенденцією до досягнення стаціонарного стану. Фактор субстрату є дуже важливим для перспективного визначення потенціальної родючості техноземів. У цьому контексті найкращі перспективи у лесоподібних суглинків та червоно-бурих глин, навіть порівняно з педоземами.

time. American Journal of Science, 301(2), 182-204. doi: 10.2475/ajs.301.2.182.

5. Berner, R. A., Lasaga, A. C., Garrels, R. M. (1983). The carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years. American Journal of Science, 283(7), 641-683. doi: 10.2475/ajs.283.7.641

6. 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

7. Didukh, Ya.P. (2011). The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in

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

synphytoindication. Kyiv: Phytosociocentre.

8. Klimkina, I., Kharytonov, M., Zhukov, O. (2018). Trend Analysis of Water-Soluble Salts Vertical Migration in Technogenic Edaphotops of Reclaimed Mine Dumps in Western Donbass (Ukraine). *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 74 (2), 82–93. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.erem.74.2.19940>

9. Lackner, K. S., Wendt, C. H., Butt, D. P., Joyce, E. L., Jr., Sharp, D. H. (1995). Carbon dioxide disposal in carbonate minerals. *Energy*, 20(11), 1153–1170. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442\(95\)00071-N](http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442(95)00071-N).

10. Lyadskaya, I.V., Maslikova, K.P., Zhukov, A.V. (2016). Methodological approaches to assessing moisture resistant plants wilting sod lithogenic soils on red-brown clay. *Bulletin of Dnipropetrovsk National agro-economic University*, 3 (41), 68–72.

11. Lyubishchev, A. A. (1982). *Problems of Taxonomy and Evolution of Organisms*. Collection of Papers. Nauka, Moscow.

12. 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.

13. Maslikova, K.P., Ladska, I.V., Zhukov, O.V. (2016). Permeability of soils in artificially created models with different stratigraphy. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*. 6 (3), 234–247. DOI:

<http://dx.doi.org/10.15421/201693>

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

15. Nettleton, W. D. (1991). Occurrence, characteristics, and genesis of carbonate, gypsum, and silica accumulations in soils. *Soil Science Society of America, SSSA Special Publication* 26. doi:10.2136/sssaspecpub26.frontmatter

16. Renforth, P., Manning, D. A. C. (2011). Laboratory carbonation of artificial silicate gels enhanced by citrate: Implications for engineered pedogenic carbonate formation. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 5, 1578–1586. DOI: [10.1016/j.ijggc.2011.09.001](http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2011.09.001)

17. Renforth, P., Manning, D. A. C., Lopez-Capel, E. (2009). Carbonate precipitation in artificial soils as a sink for atmospheric carbon dioxide. *Applied Geochemistry*, 24, 1757–1764. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.05.005>.

18. Seifritz, W. (1990). CO<sub>2</sub> disposal by means of silicates. *Nature*, 345 (6275), 486. [10.1038/345486b0](http://dx.doi.org/10.1038/345486b0)

19. Sokolov, B. S. (2010). The Biosphere as a Biogeomere and Its Biotope. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 18 (3), 229–233. DOI

<https://doi.org/10.1134/S0869593810030019>

20. 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.

21. Washbourne, C.-L., Lopez-

- Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В., Capel, E., Renforth, P., Ascough, P.L., Manning, D.A.C. (2015). Rapid removal of atmospheric CO<sub>2</sub> by urban soils. *Environmental Science & Technology*, 49, 5434–5440. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/es505476d>
22. Yorkina, N., Maslikova, K., Kunah, O., Zhukov, O. (2018). Analysis of the spatial organization of *Vallonia pulchella* (Muller, 1774) ecological niche in Technosols (Nikopol manganese ore basin, Ukraine). *Ecologica Montenegrina*, 17, 29–45.
23. Zadorozhnaya, G. A., Andrushevych, K.V., Zhukov, O.V., (2018). Soil heterogeneity after recultivation: ecological aspect. *Folia Oecologica*, 45 (1), 46–52. doi:

10.2478/foecol-2018-0005

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)
25. Zhukov, O.V., Potapenko, O.V. (2017). Environmental impact assessment of distribution substations: the case of phytoindication. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(1), 5–21 (in Ukrainian).
26. Zonn, S.V., Travleev, A.P. (1989). Geographical and genetic aspects of pedogenesis, evolution and preservation of soil. *Naukova Dumka*, Kyiv, 216

**DYNAMICS OF THE  
CARBONATES AND NITROGEN  
CONTENT FOLLOWING THE  
TECHNOGENIC SOIL FORMING  
PROCESS IN NIKOPOL  
MANGANESE ORE BASIN**

**K. P. Maslikova, O. V. Zhukov,  
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 carbonates and nitrogen content. 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. The paper presents evidence that the accumulation processes of the carbonates by tehnosols

*are directly related to the immobilization of atmospheric carbon dioxide as the reverse mechanism of the phenomena of the greenhouse effect, that should be considered as an important ecosystem service of the anthropogenic soils. This ecosystem service is the young man-made soil performs a significant function as a positive factor in countering the greenhouse effect and global climate change. It is shown that following the technogenic soil forming process content of digestible nitrogen in tehnosols demonstrates the dynamics of increase with a tendency to achieve a steady state. Factor of the substrate is very important for the future identification of potential fertility tehnosols. In this context, the best prospects are loess and red-brown clay, even compared with the pedozems.*

**Keywords:** ecosystem services, reclamation, phytoindication, carbonates, nitrogen content

**ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ  
КАРБОНАТОВ И УСВОЯЕМЫХ  
ФОРМ АЗОТА В ПРОЦЕССЕ  
ТЕХНОГЕННОГО  
ПОЧВОГЕНЕЗА В ТЕХНОЗЕМАХ  
НИКОПОЛЬСКОГО  
МАРГАНЦЕВОРУДНОГО  
БАССЕЙНА**

**Е. П. Маслікова, А. В. Жуков,  
Д. В. Коваленко**

*Аннотация.* В работе показана возможность индикации регуляторных экосистемных сервисов в процессе техногенного почвогенеза с помощью фитоиндикационных оценок содержания карбонатов и усвояемых форм азота. Полевые исследования проводились в течение 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. В работе приведены свидетельства того, что процессы накопления карбонатов в техноземах имеют непосредственное отношение к иммобилизации атмосферного оксида углерода как обратный механизм явлений парникового эффекта, что следует рассматривать как важный экосистемный сервис антропогенных почв. Этот экосистемный сервис именно молодых техногенных почв выполняет значительную положительную функцию как

фактор противодействия парниковому эффекту и глобальным изменениям климата. Показано, что в течение грунтогенеза содержание усвояемых форм азота в техноземах демонстрирует динамику увеличения с тенденцией к достижению стационарного состояния. Фактор субстрата является очень важным для перспективного определения потенциального плодородия техноземов. В этом контексте лучшие перспективы имеют лессовидные суглинки и красно-бурые глины, даже по сравнению с педоземами.

**Ключевые слова:** экосистемные сервисы, рекультивация, фитоиндикация, карбонаты, усвояемые формы азота