

15. Anistratenko V. V., Anistratenko O. Yu. The “switching” in early ontogeny type of some Miocene gastropods of the Paratethys reveals a periodic character // Geophysical Research Abstracts. – 2006. – Vol. 8. – SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A – 00724, European Geosciences Union, Vienna, 2-7 April 2006.

Институт геологических наук
НАН Украины, Киев
Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена
НАН Украины, Киев

Поступило в редакцию 15.02.2008

УДК 502.211+591.5+592

© 2008

О. Є. Пахомов, Ю. Л. Кульбачко, О. О. Дідур

Модель взаємодії штучних ґрунтових сумішей рекультивованих територій і ґрунтових сапрофагів (Diploroda)

(Представлено членом-кореспондентом НАН України І. П. Григорюком)

The artificial soil compound influence that can appear in case of a postanthropogenic land reforming is experimentally investigated. Such an influence affects the soil invertebrates (millipede myriapods as an example). Changes in the biological activity of soil compounds under the influence of invertebrate-saprobites are analyzed. The combinations of compounds that exert a great influence on the animal biomass changes are found.

Один з видів рекультивації — створення штучних лісових біогеоценозів у ландшафтах з повністю знищеною біотою [1–4]. Подібні явища спостерігаються в таких регіонах України, як Західний Донбас, вугільні басейни Олександрії, Кривбасу та ін. Проведення рекультивації в умовах техногенного ландшафту, зокрема на шахтних породах Західного Донбасу, полягає в створенні штучних едафотопів з оптимальними водно-фізичними та агрохімічними властивостями. На біологічному етапі рекультивації відновлюється автотрофна (рослинність) і гетеротрофна частини біогеоценозу (тварини і ґрунтовий мікробоценоз) [5–11].

У природних умовах за короткий час не завжди існує можливість оцінити переваги або недоліки тих чи інших штучних ґрунтових сумішей, які застосовуються при рекультивації земель, порушених гірничодобувною промисловістю, і які водночас є середовищем існування представників фіто-, зоо- і мікробоценозу. Тому проведення модельних лабораторних експериментів дозволяє більш детально з'ясувати стимулювальний вплив біоти і штучних ґрунтових сумішей на процес формування культурбіогеоценозу.

Мета нашого дослідження полягала у визначенні впливу первинних деструкторів рослинного опаду на біологічну активність системи-суміші та з'ясуванні закономірностей продукування CO₂ полікомпонентною сумішшю за участю тварин-сапрофагів. Об'єктом дослідження були ківсяки (Diploroda). Предмет дослідження — взаємозв'язок ґрунтових сапрофагів із середовищем перебування (штучною ґрунтовою сумішшю).

В експерименті використано такі складові (фактори): шахтна порода (x_1) з $pH_{\text{водн}} = 3,5$; ґрунтова маса чорнозему звичайного (x_2) як субстрат ($pH_{\text{водн}} = 7,0$), що містить гумус; підстилка з листя робінії псевдоакації (x_3) з $pH_{\text{водн}(1:10)} = 6,95$.

Вивчали зміну біомаси ківсяків на різних за складом ґрунтових сумішах (відображення впливу факторів на тварин) і інтенсивність потоку CO_2 , що виділявся сумішшю субстратів (відображення впливу тварин на ґрунтові суміші), як показника їх життєдіяльності.

Кількість тварин у всіх дослідах становила 9 особин. Вимірювали загальну масу тіл тварин до та після експериментального впливу. Для встановлення внеску представників *Diploroda* у виділенні штучними ґрунтовими сумішами CO_2 проведені лабораторні контрольні досліди з сапрофагами та без них. Вміст CO_2 ($г/(год \cdot м^2)$) при диханні ґрунтових сумішей визначали титриметрично відповідно до закону еквівалентів [12]. Для створення в дослідах оптимальних гідротермічних умов перебування тварин у лабораторії підтримували температуру в межах $20-22\text{ }^\circ\text{C}$ й імітували випадання опадів $35\text{ мм}/30\text{ дб}$. Для поливу використовували дистильовану воду.

План експерименту (табл. 1) обраний відповідно до рекомендацій, розроблених у теорії математичного планування експерименту (використали метод планування на діаграмах склад-властивість) [13, 14]. У кожній точці плану реалізовано два паралельних досліди. Тривалість експериментів становила 30 дб (з 10.10.07 по 10.11.07).

Змінні x_i ($i = 1, 2, \dots, q$), наведені в матриці планування, є пропорціями (відносним вмістом) i -х компонентів суміші і задовольняють умову

$$\sum_{1 \leq i \leq q} x_i = 1, \quad x_i \geq 0.$$

Кожній точці плану відповідає суміш певного складу. Для перевірки адекватності отриманої моделі реалізовано досліди в трьох перевірочних точках (досліди №№ 7, 8, 9).

Результати виміру біомаси тварин наведені в табл. 2. В останній графі таблиці зазначені середні значення збільшення маси тварини, знайдені як різниця між масою тварини до початку експерименту та після нього.

Після реалізації матриці планування нами розраховані коефіцієнти полінома та побудоване рівняння регресії вигляду

$$y = -0,425x_1 + 0,085x_2 + 1,04x_3 - 1,66x_1x_3$$

$$(R^2 \text{ з урахуванням ступенів свободи} = 93,2\%),$$

Таблиця 1. Матриця симплекс-планування й позначення відгуків

Номер дослід	Склад суміші, частка одиниці			Залежна змінна
	Шахтна порода (x_1)	ґрунтова маса чорнозему звичайного (x_2)	Підстилка з листя робінії (x_3)	
1	1	0	0	y_1
2	0	1	0	y_2
3	0	0	1	y_3
4	0,5	0,5	0	y_{12}
5	0,5	0	0,5	y_{13}
6	0	0,5	0,5	y_{23}
7	0,333	0,333	0,333	y_{123}
8	0,15	0,595	0,255	Перевірочна точка
9	0,3	0,49	0,21	Перевірочна точка

де y — збільшення маси ківсяків, г; x_1 — відносний вміст шахтної породи в суміші; x_2 — відносний вміст чорнозему в компонентній суміші; x_3 — відносний вміст листяного опаду в трикомпонентній системі. Коефіцієнти ефектів факторів та їхніх взаємодій наведені вище в рівнянні регресії з $\alpha \leq 0,05$. Перевірка моделі показала, що вона адекватна ($\alpha = 0,004$).

Установлено, що на шахтній породі маса тварин зменшується ($-0,425x_1$). За умов існування на чорноземі відбувається невелике за величиною позитивне збільшення маси сапрофага ($+0,085x_2$). Але найбільше зростання маси сапрофага відзначено за умов перебування на підстилці з листя акації ($+1,04x_3$). При взаємодії в суміші шахтної породи та підстилки виникає негативний ефект, що призводить до зменшення маси тварин ($-1,66x_1x_3$). У цьому ефекті знак “мінус”, на наш погляд, пов’язаний саме з наявністю в суміші шахтної породи. Потрійний ефект від взаємодії шахтної породи, чорнозему й підстилки виявився статистично незначущим.

З’ясовано, що у разі збільшення в суміші частки підстилки (наприклад, від 50 до 85%) і зменшення частки шахтної породи (від 25 до 5%) відбувається позитивний приріст маси тіла тварин, а при збільшенні вмісту породи (від 40 до 85%) і зменшенні в суміші частки підстилки (від 20 до 5%) — закономірне зниження маси тіла тварин. Така реакція організмів — результат погіршення екологічних умов існування. Спостережуваний ефект від впливу ґрунтової маси чорнозему на масу сапрофагів на порядок нижчий, ніж від впливу підстилки. Його величина мала і варіює в дуже вузькому діапазоні.

Відповідно до отриманого рівняння регресії нами побудована поверхня відгуку у вигляді контурного графіка (рис. 1), що дозволяє візуально оцінити вплив факторів на зміну біомаси тварин. Як видно з рисунка, відгук має чітку область максимуму збільшення маси тіла ківсяків і зону максимального зменшення маси. Варіювання складом компонентів суміші в експерименті — шахтної породи від 0 до 20%, чорнозему — від 0 до 75%, а підстилки — від 20 до майже 100%, відповідає зоні максимального збільшення маси тіла сапрофагів. Навпаки, маса тварин зменшується, якщо в суміші збільшується вміст шахтної породи, знижується вміст підстилки й ґрунтової маси чорнозему. Зафіксоване в експерименті зменшення маси пояснюється тим, що реакція шахтної породи кисла ($\text{pH} = 3,5$). І, отже, при зміні складу суміші в бік більшого вмісту шахтної породи створюються негативні умови існування тварин, що й призводить до зміни їхньої біомаси.

Результати дослідів по встановленню внеску представників сапрофагів у біологічну активність, зокрема в “подих”, модельних ґрунтових сумішей наведені в табл. 3. Статистич-

Таблиця 2. Результати планування — зміна біомаси сапрофагів

Номер досліді	Склад суміші, частка одиниці			Відгук Середнє збільшення маси за 1 міс., г ($n = 9$ екз.) (y)
	Шахтна порода (x_1)	Ґрунтова маса чорнозему звичайного (x_2)	Підстилка з листя робінії (x_3)	
1	1	0	0	-0,48
2	0	1	0	0,04
3	0	0	1	1,04
4	0,5	0,5	0	-0,04
5	0,5	0	0,5	-0,12
6	0	0,5	0,5	0,94
7	0,333	0,333	0,333	0,14
8	0,15	0,595	0,255	0,36
9	0,3	0,49	0,21	-0,04

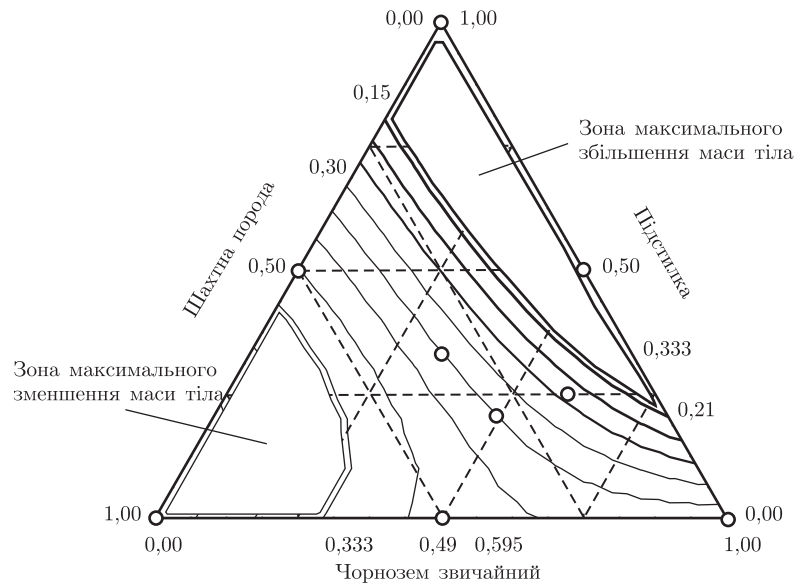


Рис. 1. Зони екстремуму для зміни біомаси на проекції поверхні відгуку дослідженої трикомпонентної системи

на обробка даних показала, що внесок у виділення CO_2 тваринами достовірний ($\alpha = 0,05$): продукція CO_2 за участю тварин вища (на 20-ту й 27-му добу), ніж без них.

Після реалізації матриці планування для потоків CO_2 на 20-ту добу від початку експерименту побудоване рівняння регресії вигляду

$$y = 0,519x_1 + 0,599x_2 + 0,585x_3 + 0,869x_2x_3 + 3,945x_1x_2x_3$$

(R^2 з урахуванням ступенів свободи = 91,40%),

де y — інтенсивність потоку CO_2 , продукованого за участю представників сапрофагів сумішню субстратів, $\text{г}/(\text{год}\cdot\text{м}^2)$; x_1 — відносний вміст шахтної породи в суміші; x_2 — відносний вміст чорнозему в компонентній суміші; x_3 — відносний вміст підстилки з листя робінії

Таблиця 3. Вплив тварин-сапрофагів на виділення CO_2 в експерименті

Номер досліджу	Склад суміші, частка одиниці			Зрушення відгуку* і відношення О/К ($n = 9$ екз. /дослід)			
	Шахтна порода (x_1)	Грунтова маса чорнозему звичайного (x_2)	Підстилка з листя робінії (x_3)	20-та доба	27-ма доба		
1	1	0	0	+	1,35	+	1,32
2	0	1	0	+	1,84	+	1,53
3	0	0	1	+	1,30	+	1,32
4	0,5	0,5	0	+	1,84	+	1,19
5	0,5	0	0,5	+	1,42	+	1,12
6	0	0,5	0,5	+	1,52	-	0,75
7	0,333	0,333	0,333	+	1,66	+	1,37
8	0,15	0,595	0,255	+	2,68	+	1,32
9	0,3	0,49	0,21	+	1,52	+	1,35

*Зрушення відгуку — різниця показника в досліді без тварин (К) та з ними (О).

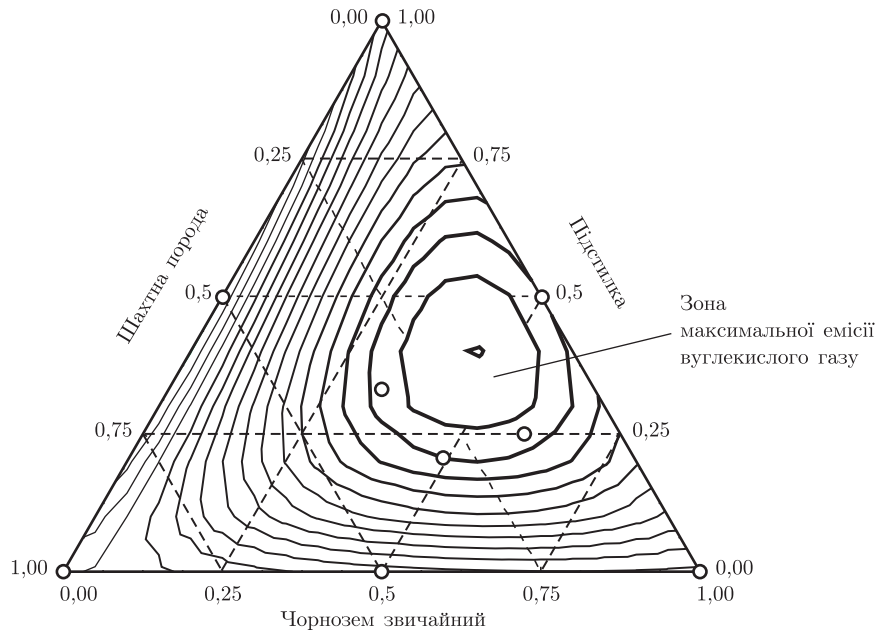


Рис. 2. Контурні криві для опису емісії вуглекислого газу ґрунтовими сумішами в експерименті

псевдоакації в трикомпонентній системі; x_2x_3 й $x_1x_2x_3$ — взаємодії факторів. Коефіцієнти впливу факторів та їхніх взаємодій наведені в рівнянні регресії з $\alpha \leq 0,05$.

Величина коефіцієнта детермінації R^2 отриманого рівняння свідчить про належну працездатність самої моделі. Її перевірка показала, що вона адекватна ($\alpha = 0,04$).

Установлено, що для інтенсивності потоку CO_2 , зафіксованого на 20-ту добу (тобто через три тижні від початку постановки дослідів), існує достовірний значущий вплив усіх використовуваних компонентів суміші — шахтної породи (x_1), чорнозему звичайного (x_2) і лісової підстилки з листя робінії (x_3), їхній парний ефект — взаємодія чорнозему й підстилки (x_1x_3), а також потрійна взаємодія шахтної породи, чорнозему і підстилки ($x_1x_2x_3$). Подвійні ефекти x_1x_2 й x_1x_3 статистично незначущі. У рівнянні регресії вони не наведені.

Порівняння величини коефіцієнтів регресії показує, що внесок в емісію CO_2 з поверхні сумішей ґрунтової маси чорнозему (+0,599) і підстилки (+0,585) перевищує внесок ефекту від шахтної породи (+0,519). Залежність потоку CO_2 від обраних в експерименті факторів має явний нелінійний характер, обумовлений впливом подвійної взаємодії ґрунтової маси чорнозему та листяного опаду (x_2x_3) і водночас потрійним ефектом усіх компонентів суміші ($x_1x_2x_3$).

Якщо склад компонентів суміші в експерименті змінюється таким чином: вміст шахтної породи становить від 0 до 40%, чорнозему — від 25 до 70%, а підстилки — від 30 до приблизно 75%, то йому відповідає область максимального виділення потоку CO_2 (рис. 2). Інакше, для ґрунтових сумішей, що містять субстрати, малопридатні для існування представників *Diploroda* (у нашому випадку таким субстратом є шахтна порода), більших значень емісії CO_2 (як відображення біологічної активності ґрунтів) можна досягати за рахунок додавання в суміш маси чорнозему й підстилки з листя робінії псевдоакації.

Таким чином, нами отримано математичну модель, що описує залежність зміни біомаси ківсяків від дії експериментальних факторів. Відзначено достовірне зменшення біомаси ківсяків, що мешкають на шахтній породі, і збільшення її при додаванні до компонентів

суміші (шахтна порода та чорнозем) листяного опаду робінії псевдоакації. Виявлено, що присутність тварин-сапрофагів у штучних сумішах ґрунту сприяє більш інтенсивному виділенню CO₂ як однієї з характеристик біологічної активності ґрунтів.

Розраховано математичну модель, що описує швидкість продукції CO₂ від складу багатокomпонентної ґрунтової суміші. У проведених дослідях за участю представників ґрунтових сапрофагів установлений статистично достовірний вплив шахтної породи, чорнозему звичайного й підстилки на характер ґрунтового дихання.

Показано, що шахтна порода дає найменший внесок у біологічну активність ґрунтових сумішей. При додаванні до шахтної породи підстилки швидкість виділення вуглекислоти зростає. Це може сприяти формуванню екологічно оптимального середовища перебування тварин і поліпшенню їхніх структурно-функціональних характеристик.

1. Белова Н. А. Экология, микроморфология, антропогенез лесных почв степной зоны Украины. – Днепропетровск: ДГУ, 1997. – 264 с.
2. Биогеоценологический покров Западного Донбасса, его техногенная динамика и оптимизация: Учеб. пособие / А. П. Травлев, В. А. Овчинников, В. Н. Зверковский и др. – Днепропетровск: ДГУ, 1988. – 72 с.
3. Травлев А. П. Научные основы техногенной биогеоценологии // Биогеоценологические исследования лесов техногенных ландшафтов степной Украины. – Днепропетровск: ДГУ, 1989. – С. 4–9.
4. Травлев А. П. Теоретичні основи лісової рекультивациі порушених земель у Західному Донбасі на Дніпропетровщині // Ґрунтознавство. – 2005. – 16, № 1–2. – С. 19–29.
5. Грицан Ю. І. Екологічні основи перетворюючого впливу лісової рослинності на степове середовище. – Дніпропетровськ: ДДУ, 2000. – 300 с.
6. Зверковский В. Н., Поляченко Н. А. Биэкологические и агротехнические особенности лесной рекультивации шахтных отвалов Западного Донбасса // Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель. – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2006. – С. 195–201.
7. Зверковский В. Н. Особенности развития лесных насаждений в многолетнем эксперименте по рекультивации отвала шахты “Павлоградская” // Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель. – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2002. – С. 21–30.
8. Кулик А. Ф., Суслова Е. П. Влияние аллелопатических факторов на почвообразовательные процессы рекультивированных участков Западного Донбасса // Биогеоценологические исследования лесов техногенных ландшафтов степной Украины. – Днепропетровск: ДГУ, 1989. – С. 4–9.
9. Мстюк А. Н. Структурно-функциональная организация насаждений облесихи крушиновидной // Антропогенные воздействия на лесные экосистемы степной зоны. – Днепропетровск: ДГУ, 1990. – С. 101–112.
10. Узбек І. Х., Галаган Т. І. Фізико-хімічні властивості едафотопів техногенних ландшафтів і їх еколого-економічне значення // Ґрунтознавство. – 2004. – 5, № 1–2. – С. 102–106.
11. Цветкова Н. Н., Зверковский В. Н., Турика Н. П., Волошина Н. В. Динамика микроэлементного состава насыпных почвогрунтов Западного Донбасса // Антропогенные воздействия на лесные экосистемы степной зоны. – Днепропетровск: ДГУ, 1990. – С. 4–10.
12. Васильев В. П. Аналитическая химия: В 2 ч. Ч. 1. Гравиметрический и титриметрический методы анализа: Учеб. для хим.-технол. спец. вузов. – Москва: Высш. шк., 1989. – 320 с.
13. Зедгинидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – Москва: Наука, 1976. – 390 с.
14. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие для вузов. – Москва: Высш. шк., 1988. – 239 с.