

DOI: [https://www.doi.org/10.32636/01308521.2020-\(68\)-2-6](https://www.doi.org/10.32636/01308521.2020-(68)-2-6)

УДК 631.43

Д. В. ОСАДЧУК¹, молодший науковий співробітник

К. М. БЛАЖЕЙ¹, фахівець

В. Д. ОСАДЧУК¹, кандидат сільськогосподарських наук

В. А. НІКОРИЧ², кандидат біологічних наук

¹Буковинська державна сільськогосподарська дослідна станція
Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН
вул. Богдана Крижанівського, 21 А, м. Чернівці, 58025,
e-mail: buksaes@meta.ua

²Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58012, e-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua

ВПЛИВ РІЗНИХ СПОСОБІВ ВИРОЩУВАННЯ КОРМОВИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР НА ПАРАМЕТРИ ТВЕРДОЇ ФАЗИ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ

Проаналізовано значну кількість наукової літератури щодо вирощування кормових та енергетичних культур, при цьому встановлено, що існує потреба в розширенні фактажу щодо тематики досліджень в умовах польових експериментів на сірих лісових ґрунтах Лісостепу України.

Дослідження проведено з метою встановлення впливу різних способів вирощування кормових та енергетичних культур на головні параметри твердої фази сірих лісових ґрунтів. Набір фуражних та енергетичних культур складався з *Miscanthus x giganteus*, *Silphium perfoliatum* L., *Panicum virgatum* L., *Phleum pratense* L., *Medicago Sativa* L., *Trifolium pratense* L. and *Bromus inermis* L. Дослідження проведено за загальноприйнятими методиками. Використано тільки авторську методику виявлення швидкості формування тріщин, для чого перетертий ґрунтовий матеріал (фракція <1 мм) переносили в чашки Петрі, зволожували дистильованою водою до повної вологості з наступним висушуванням за кімнатної температури (~22 °С).

Показано, що гранулометричний склад є консервативним показником, який не залежить від типу вирощуваної культури та експозиції схилу, але детермінується генетичною природою ґрунту. Агрегування ґрунтової маси відбувається в усіх розмірних діапазонах рівномірно, що свідчить про відсутність активної провокації диспергування ґрунтової маси залежно від культури.

Встановлено, що високостебельні енергетичні рослини підвищують дезагрегованість ґрунтової маси, а кореневі системи трав'янистих рослин сприяють оструктуренню, про що свідчать значення фактора структурності та гранулометричного показника структурності. Аналіз отриманих результатів підтвердив генетичну природу ґрунту та його особливий статус розподілу тонкодисперсної маси. При цьому встановлено, що тип рослинності взагалі не

© Осадчук Д. В., Блажей К. М.,
Осадчук В. Д., Нікорич В. А., 2020
впливає на головні ґрунтово-гідрологічні показники.

Показано особливу роль бобових та різноманітних травосумішей у формуванні змін у складі типових характеристик твердої фази сірого лісового ґрунту. Висновки зроблено на основі застосування кореляційного та кластерного аналізів.

На нашу думку, остаточне вирішення досліджуваного питання вимагає подальшого розширення експериментальної бази.

Ключові слова: сірі лісові ґрунти, тверда фаза, гранулометричний склад, мікроагрегатний склад, фактор дисперсності, фактор структурності, гранулометричний показник структурності, ґрунтово-гідрологічні константи.

Dmytro Osadchuk, Kateryna Blazhey, Vasyl Osadchuk

Bukovynian State Agricultural Research Station of the Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS

Volodymyr Nikorych

Chernivtsi National University named after Yuriy Fedkovych

Influence of different methods of forage and energetic crops cultivation on the parameters of gray forest soil solid phase

A significant body of scientific literature exists on forage and energetic crops cultivation, but there seems to be a need to improve their practical applicability and usefulness in field experiments on gray forest soils of Ukrainian Forest-steppe.

We investigated the influence of different methods of forage and energetic crops cultivation on the main parameters of gray forest soils solid phase. Selection of forage and energetic crops consisted of *Miscanthus x giganteus*, *Silphium perfoliatum* L., *Panicum virgatum* L., *Phleum pratense* L., *Medicago Sativa* L., *Trifolium pratense* L. and *Bromus inermis* L. Science research was conducted using conventional methods. Author method submitted only in area of soil crack formation. In particular, shrinking of soil material was conducted on fine earth soil material (fraction <1 mm). The soil material was placed on a glass plate and moistured with distilled water. Then the soil material was dried at room temperature (~22 °C).

We found that soil texture is a conservative indicator that does not depend on the type of cultivated crop and aspect of a slope, but is determined by the genetic nature and peculiarities of the soil. Aggregation of the soil mass occurs in all size ranges evenly, which indicates the absence of active provocation of the soil mass disperse depending on the cultivated crop.

It has been established that high-stemmed energetic plants increase the disaggregation of the soil mass, and the root systems of herbaceous plants contribute to structuring, as evidenced by both structure index and texture index of soil aggregation. The analysis of the obtained results confirmed the genetic nature of the soil and its special status of fine materials distribution. It has been found that the type of vegetation does not influence the main soil-hydrologic indicators.

The special role of legumes and various grass mixtures in the formation of changes in the composition of the typical characteristics of the solid phase of gray forest soil has been shown. Conclusions have been made on the basis of application of correlation and cluster analyses.

It is our opinion that the final resolution of researched question requires further thought and examination.

Key words: gray forest soils, solid phase, soil texture, particle size distribution, microaggregates, dispersion factor, structure index, granulometric index of soil structure, soil-hydrologic constants.

Вступ. Біоенергетичні культури активно культивують з початку 1990-х [45], внаслідок політики, спрямованої на посилене використання біопалива як складової частини відновлюваних джерел енергії. Вже до 2030 р. в ЄС частка транспортного біопалива має становити 10 % [26], а в США до 2025 р. – 12 % [24]. З огляду на поставлені цілі, прогнозується, що світовий попит на біопаливо зросте майже до 760 мільйонів тонн нафтового еквівалента вже до 2050 р., щоб задовольнити 27 % загальної потреби у транспортному паливі [21]. Властиво очікувати зростання майбутнього попиту на енергетичні культури, зокрема на багаторічні види трав, такі як міскантус (*Miscanthus x giganteus*), сільфія (*Silphium perfoliatum*) та світчграс (*Panicum virgatum* L.), що є перспективними агрономічними варіантами через їх незначні вимоги до якості ґрунту та широку толерантність до початкових умов зростання [5, 15, 22, 27, 28, 37]. Ці культури можна ефективно вирощувати на недостатньо окультурених ділянках [42] з бідними або деградованими ґрунтами [19, 35]. Висловлюється припущення про важливу роль енергетичних культур у збільшенні вмісту ґрунтового Карбону [41], що сприяє його частковому вилученню з кругообігу з позитивними наслідками [18, 30]. Екологічні переваги біоенергетичних культур компенсуються посиленою емісією парникових газів при вирощуванні з надмірним удобренням [34, 43]. Наслідки можуть включати збільшення викидів в атмосферу закису азоту, що є потужним парниковим газом [31].

У науковій літературі є певні відомості щодо взаємодії енергетичних культур з ґрунтовими параметрами, зокрема з вмістом вологи. Знайдено значний лінійний зв'язок між урожайністю міскантусу та річними опадами [20], причому міскантус більш залежний ніж світчграс [4, 12, 48]. Повідомляється, що через глибoku та розгалужену кореневу систему міскантус виявився високоефективним у водопоглиненні [25]. Ця культура володіє високим потенціалом урожайності навіть за дуже обмежених умов доступності води [10]. Нестача нітрогеновмісних сполук суттєво зменшує біомасу міскантусу [9, 28, 33] та погіршує вкорінення, що має вирішальне значення в посушливий період. Меншу залежність було виявлено для інших енергетичних культур [23, 38, 40, 44, 46].

Дослідження впливу енергетичних культур на властивості твердої фази ґрунтів розпочалося не так давно, тому в літературі існує певний вакуум щодо їх ролі. Це значить, що дослідження подібного типу мають як теоретичний, так і практичний інтерес. Щодо ролі кормових культур [6–8, 11, 14, 35, 39, 47], то питання значно краще вивчене, але даних щодо сірих лісових ґрунтів в умовах Прут-Дністровського межиріччя також недостатньо. Це і зумовило вибір теми досліджень, які проведено з метою встановлення впливу різних способів вирощування кормових та енергетичних культур на головні параметри твердої фази сірих лісових ґрунтів.

Матеріали і методи. Дослідження проводили на дослідних полях Буковинської державної сільськогосподарської станції, на основі закладених експериментів північної та південної експозиції. У роботі використано як загальноприйняті, так і авторські методики, зокрема:

- Відбір проб. Настанови щодо складання програм відбору проб [1];

- попередня обробка зразків [2];

- визначення гранулометричного та мікроагрегатного складу ґрунтів аерометричним методом за Касагранде [16];

- визначення факторів дисперсності (Кд) Качинського та структурності (Кс) Фагелера, а також гранулометричного показника структурності (ГПС) Вадюніної розрахунковим методом [3];

- розрахунок головних ґрунтово-гідрологічних констант (НВ, ПВ, КВ) та водопроникності на основі результатів аерометричного визначення гранулометричного складу [13];

- визначення реакції твердої фази на динаміку параметрів зволоження за методикою моделювання зміни режиму зволоження – висихання [17, 32]. У чашки Петрі поміщали 50 г розтертого повітряно-сухого ґрунту. Зволожували зразки до повної вологоємності з подальшим відстежуванням та фотодокументуванням формування тріщин. Періодичність: 0 – 6 – 12 – 24 години;

- статистичну обробку проведено методами кореляційного та кластерного аналізів з використанням Statistica 10.

При постановці досліду було заплановано дослідження впливу вегетації багаторічних культур на параметри твердої фази сірого лісового ґрунту, в умовах контролю та варіантів досліду з внесенням вапна та комбінуванням вапна з добривами. Вапнякове борошно з вмістом CaCO_3 на рівні 87 % вносили в кількості 8 т/га. Крім того, у варіантах з регулюванням поживного режиму ґрунту вносили фосфорні і калійні добрива в дозі $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ (суперфосфат простий з

масовою часткою засвоюваних фосфатів в перерахунку на P_2O_5 не менше 19 % і калій хлористий з масовою часткою калію K_2O не менше 60 %).

Вирощували сільфію та міскантус (енергетичні культури) та бобово-злакові кормові травосуміші в різних варіантах за схемою:

північний схил (глибини відбору (см): 0–20 та 20–40)

1ТСК – люцерна + конюшина + стоколос – контроль; 2ТСК – люцерна + конюшина + тимофіївка – контроль; 3ТСК – тимофіївка – контроль;

1ТС1 – люцерна + конюшина + стоколос – вапно (В); 2ТС1 – люцерна + конюшина + тимофіївка – В; 3ТС1 – тимофіївка – В;

1ТС2 – люцерна + конюшина + стоколос – В + добрива (Д); 2ТС2 – люцерна + конюшина + тимофіївка – В + Д; 3ТС2 – тимофіївка – В + Д;

1МК – міскантус – контроль; 2М – міскантус – В; 3М – міскантус В + Д;

1СК – сільфія – контроль; 2С – сільфія – В; 3С – сільфія – В + Д.

південний схил (глибини відбору (см): 0–20): без розбивки на варіанти, вирощували окремо міскантус, світчграс, бобові трави, злакові: ПДМ – міскантус; ПДС – світчграс; ПДБ – бобові; ПДЗ – злакові.

Виконували ще дослід на перелозі за схемою: ПДП – К – переліг-контроль; ПДП – В; ПДП – В + Д.

Відповідно до ДСТУ ISO 10381-1:2004 [3], відбір середньозмішаних ґрунтових зразків проводили за С.3-схемою обертових діагоналей (схема для постійного моніторингу). Відбір зразків приурочували до осіннього та весняного періоду.

Результати та обговорення. Досліджуваний сірий лісовий ґрунт за хімічними, фізико-хімічними та агрохімічними показниками відповідав усередненим параметрам архетипу. Вміст гумусу за Тюріним у поверхневому гумусово-елювіальному горизонті становив 3,15 %, знижуючись за горизонтами до 0,9 % у перехідному до материнської породи. Реакція ґрунтового розчину (pH_{KCl}) становила 4,24, підвищувалася з глибиною до 6,21 у верхній частині материнської породи. Вміст лужногідролізованого азоту за Корнфілдом становив 13,8 мг/100 г у поверхневому гумусово-елювіальному горизонті, знижувався у підорному до 9,0 мг/100 г ґрунту. Вміст фосфору за Кірсановим становив 100 мг/кг ґрунту у поверхневому горизонті, знижувався до 51 мг/кг ґрунту у перехідному до материнської породи. Вміст обмінного калію за Кірсановим не перевищував 40 мг/кг ґрунту і характеризував досліджуваний ґрунт як малозабезпечений цим елементом.

Характеристика фізичних і фізико-хімічних параметрів якості ґрунтів, зазвичай, починається з оцінки його гранулометричного складу. Він має провідне значення у формуванні біопродуктивності, впливаючи на всі режими ґрунту та більшість його властивостей. Результати визначення гранскладу представлено у табл. 1. Встановлено клас гранулометричного складу досліджуваного ґрунту на всіх варіантах досліджу – пилуватий суглинок (за Качинським – середній суглинок), що підтверджує генетичну спорідненість ґрунту на всіх пробних майданчиках. Це є свідченням закладення експерименту в однотипових текстурних умовах.

1. Гранулометричний склад досліджуваного ґрунту у варіантах польового експерименту

| Шифр | Розмір фракції ЕГЧ, мм та вміст у % | | | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|-----------|------------|-------------|--------|
| | >0,1 | 0,1–0,05 | 0,05–0,02 | 0,02–0,006 | 0,006–0,002 | <0,002 |
| 1 ТСК (0–20) | 16 | 7 | 27 | 20 | 15 | 15 |
| 1ТСК (20–40) | 11 | 10 | 26 | 16 | 18 | 19 |
| 2ТСК (0–20) | 12 | 8 | 33 | 26 | 4 | 17 |
| 2ТСК (20–40) | 14 | 5 | 34 | 19 | 14 | 14 |
| 3ТСК (0–20) | 16 | 9 | 28 | 18 | 11 | 18 |
| 3ТСК (20–40) | 12 | 10 | 30 | 16 | 14 | 18 |
| 1МК (0–20) | 19 | 6 | 30 | 19 | 7 | 19 |
| 1МК (20–40) | 12 | 5 | 32 | 23 | 12 | 16 |
| 1СК (0–20) | 11 | 8 | 28 | 23 | 16 | 14 |
| 1СК (20–40) | 7 | 8 | 31 | 25 | 12 | 17 |
| ПДБ | 6 | 14 | 25 | 36 | 11 | 8 |
| ПДЗ | 7 | 10 | 22 | 33 | 13 | 15 |
| ПДМ | 3 | 9 | 23 | 32 | 10 | 23 |
| ПДП + ВД | 6 | 14 | 21 | 33 | 11 | 18 |
| ПДП + В | 3 | 14 | 21 | 33 | 11 | 18 |
| ПДП + К | 6 | 9 | 25 | 32 | 12 | 16 |
| ПДС | 1 | 10 | 23 | 34 | 12 | 20 |

Аналіз вмісту елементарних ґрунтових частинок (ЕГЧ) розміром мулистій фракції у варіанті з різними культурами на північному схилі показав незначну зміну від 14 до 19 %. Найнижчими значеннями вмісту мулу характеризувалися варіанти 2ТСК (на глибині 20–40 см) та 1СК (0–20 см), натомість, найвищий – встановлено на 1ТСК (20–40 см) і 1МК (0–20 см). Порівняння різних глибин відбору показало цікаву тенденцію: під сільфією та в одному з варіантів з травосумішкою (1ТСК) з глибиною вміст мулистій фракції збільшується, а у

варіанті з вирощуванням міскантусу та під контрольною ділянкою з люцерною, конюшиною та тимофіївкою, – навпаки, зменшується. Під чистою тимофіївкою (ЗТСК) змін не виявлено як на глибині 0–20, так і на 20–40 см. Вміст мулистої фракції в двох випадках становив 18 %.

Проаналізувавши вміст пилюватої фракції, встановлене домінування крупнопилюватої фракції (0,05–0,02 мм), вміст варіював у межах від 56 до 67 %. Найменше значення встановлене під міскантусом на глибині 0–20 см, а найвище – у варіанті 2ТСК на глибині 20–40 см. Якщо порівнювати глибини, то під травами вміст фракцій коливався в межах 57–63 % на глибині 0–20 см та 60–67 % на глибині 20–40 см. Вміст пилу під міскантусом з глибиною збільшувався від 56 до 67 %, а під сільфією, – навпаки, зменшувався. Тобто встановлено, що поведінка пилюватих фракцій була протилежною до поведінки мулу. Виявлене переважання пилюватої фракції, але чітких змін між варіантами не встановлено. Вміст коливався в межах 26–34 %. Деякі зміни були у дрібнопилюватій фракції, у варіанті 2ТСК (0–20) та 1 МК (0–20) відповідно 4 та 7 %. Натомість у інших варіантах вміст цієї фракції був вищим і збільшувався від 11 до 18 %.

Вміст піщаної фракції варіював від 15 до 25 %, складаючи найменші значення під сільфією, а найбільше під міскантусом та ЗТСК. Глибинний розподіл продемонстрував зростання вмісту цієї фракції під травами та енергетичними культурами. Найвищі абсолютні зміни з глибиною виявлено під міскантусом: вміст піщаних фракцій зменшився від 25 до 17 %, що є у 1,5 разу меншим. Таке зменшення саме фракцій, які містять тільки первинні мінерали, свідчить про те, що ця культура має вплив на інтенсифікацію біологічного вивітрювання мінеральної компоненти ґрунту.

У варіанті досліду з південною експозицією схилу вміст мулистої фракції коливався в межах від 8 до 23 %. Окремо виділяється варіант ПДБ, в якому встановлено зменшення мулу майже в 3 рази порівняно з варіантом під міскантусом (23 %). На контролі, а також при застосуванні меліоранта, добрив і вапна сумісно, зміни не зафіксовано (вміст становив відповідно 16 %, 18 % і 18 %). На південному схилі переважала фракція середнього пилу (30–34 %), фракція дрібного пилу становила лише 10–13 %, тоді як вміст крупного пилу коливався від 21 до 25 %.

Фракції пилу змінювали свій вміст від 72 до 65 % (максимально у варіанті ПДБ – 72 %, тоді як мулу у цьому варіанті було менше). Ідентичний вміст мулу виявлено у ПДМ, ПДП + ВД, ПДП + В (65 %). На контрольній ділянці та під свічграсом значення зросли до 69 %.

Вміст піску коливався від 11 до 20 %. Причому під свічграсом його було у 1,8 разу більше ніж під бобовими та у варіанті із застосуванням меліорантів і добрив. У варіантах ПДП + К, ПДП + В, ПДП + ВД відповідний вміст становив 15 %, 17 % та 20 %. Досить динамічними були текстурні зміни під міскантусом на південному схилі: у 2,3 % менше піщаної фракції порівняно з північним схилом, а вміст фракції розміром понад 0,1 мм зменшився в 6,3 разу.

Підводячи підсумок з визначення гранулометричного складу, доводиться констатувати той факт, що цей консервативний показник мало залежний від типу вирощуваної культури та експозиції схилу. Його зміни приурочені до генетичної природи ґрунту.

Іншим показником, на якому ми зосередили увагу, був мікроагрегатний склад, який оцінює не граничну, а природну дисперсність ґрунту. На відміну від текстурних характеристик, цей показник є більш динамічним залежно від змін фізико-хімічних умов середовища. Проаналізувавши вміст мікроагрегатів розміром, співставним з розміром мулистій фракції, встановлено варіації у варіантах з різними культурами на північному схилі від 6 до 14 %. Варто відзначити, що розмах варіації формував варіант ТСК, тоді як під міскантусом та сільфією коливання були відповідно 10–11 % та 9–12 % (табл. 2).

2. Результати визначення мікроагрегатного складу ареометричним методом за Касагранде (без диспергатора)

| Шифр | Розмір фракції мікроагрегатів, мм та вміст у % | | | | | |
|--------------|--|----------|-----------|------------|-------------|--------|
| | >0,1 | 0,1–0,05 | 0,05–0,02 | 0,02–0,006 | 0,006–0,002 | <0,002 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 ТСК (0–20) | 17 | 10 | 29 | 18 | 16 | 10 |
| 1ТСК (20–40) | 11 | 12 | 28 | 17 | 18 | 14 |
| 2ТСК (0–20) | 16 | 11 | 32 | 13 | 19 | 9 |
| 2ТСК (20–40) | 17 | 7 | 31 | 14 | 20 | 11 |
| 3ТСК (0–20) | 17 | 11 | 27 | 15 | 24 | 6 |
| 3ТСК (20–40) | 16 | 13 | 27 | 17 | 20 | 7 |
| 1МК (0–20) | 15 | 12 | 26 | 17 | 19 | 11 |
| 1МК (20–40) | 20 | 7 | 30 | 18 | 15 | 10 |
| 1СК (0–20) | 20 | 7 | 27 | 15 | 19 | 12 |
| 1СК (20–40) | 21 | 7 | 37 | 8 | 18 | 9 |
| ПДБ | 7 | 17 | 27 | 34 | 12 | 3 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|---|----|----|----|----|----|
| ПДЗ | 8 | 13 | 24 | 31 | 14 | 10 |
| ПДМ | 4 | 12 | 21 | 30 | 11 | 18 |
| ПДП + ВД | 7 | 17 | 19 | 31 | 12 | 13 |
| ПДП + В | 4 | 17 | 19 | 31 | 12 | 13 |
| ПДП + К | 7 | 12 | 23 | 30 | 13 | 11 |
| ПДС | 2 | 13 | 21 | 32 | 13 | 15 |

Цікаву тенденцію встановлено для глибинного розподілу. Зокрема, під травами вміст цієї розмірної групи мікроагрегатів з глибиною зростає, що не характерно для варіанта під міскантусом, і особливо під сільфією, де з глибиною встановлено зменшення вмісту. Мікроагрегати розміром як пилюваті фракції варіювали від 61 % до 66 %, що показує на незначну різницю, незалежно від варіанта досліду. Якщо аналізувати окремі фракції, то під сільфією на глибині 20–40 см крупнопилювата фракція накопичується до 37 %, тоді як найменше значення характерне для середньопилюватої фракції – 8 %.

Вміст мікроагрегатів, розмір яких лежить у діапазоні піщаних, варіював від 24 до 29 %, що також не показує великий розмах. Найменше та найбільше значення виявлено у варіанті ТСК. Під міскантусом та сільфією вміст піщаної фракції становив відповідно 27 та 28 %. Незначне зменшення піщаної фракції з глибиною спостерігали під травами.

На південному схилі виявлено дещо інші особливості в мікроагрегатному складі. Вміст найменших за розміром мікроагрегатів був у варіанті ПДБ і становив 3 % та підвищився до 18 % у ПДМ, що у 6 разів є меншим ніж під міскантусом.

У варіантах ПДП + ВД та ПДП + В діагностовано однаковий вміст мікроагрегатів, співрозмірних мулистій фракції, – 13 %, що показує на відсутність впливу добрив та меліорантів саме на цю розмірну групу. Якщо порівняти міскантус на південному схилі з міскантусом на північному (на глибині 0–20 см), то на південному у 1,6 разу цієї фракції мікроагрегатів було більше ніж на північному. Це дає змогу припустити більш активну роль у формуванні мікроагрегатної структури під цією енергетичною культурою.

Вміст мікроагрегатів в розмірній групі пилюватих фракцій варіював від 62 до 73 %. Їх розмах оцінюється у 1,2 разу: 73 % у ПДБ, а 62 % у варіантах ПДМ, ПДП + В, ПДП + ВД. Встановлено аналогічну ситуацію як і з мулистою фракцією: внесення добрив не мало впливу на цю розмірну групу мікроагрегатів. У варіантах ПДП +

К та ПДС встановлено однаковий вміст (66 %), як і під міскантусом на південному схилі та на північному – 62 %.

Проаналізувавши вміст мікроагрегатів розміром, співставним з розміром піщаної фракції, ми встановили, що варіації цього показника у варіанті з різними культурами на південному схилі становили від 15 до 24 % за найменших значень під свічграсом, а найбільших – під бобовими та ПДП + ВД. Якщо проаналізувати вміст найкрупніших мікроагрегатів ($> 0,1$ мм), то можемо відзначити їх зменшення на південному схилі до 7–8 % порівняно з північним (17–21 %).

Аналіз співвідношень показав, що агрегування в усіх розмірних діапазонах відбувається досить рівномірно (рис. 1). Це свідчить про відсутність активних процесів диспергування тонкодисперсної ґрунтової маси залежно від культури. І навпаки, є сенс говорити про відносну здатність до агрегування ґрунтової маси у ризосфері всіх досліджених рослин.

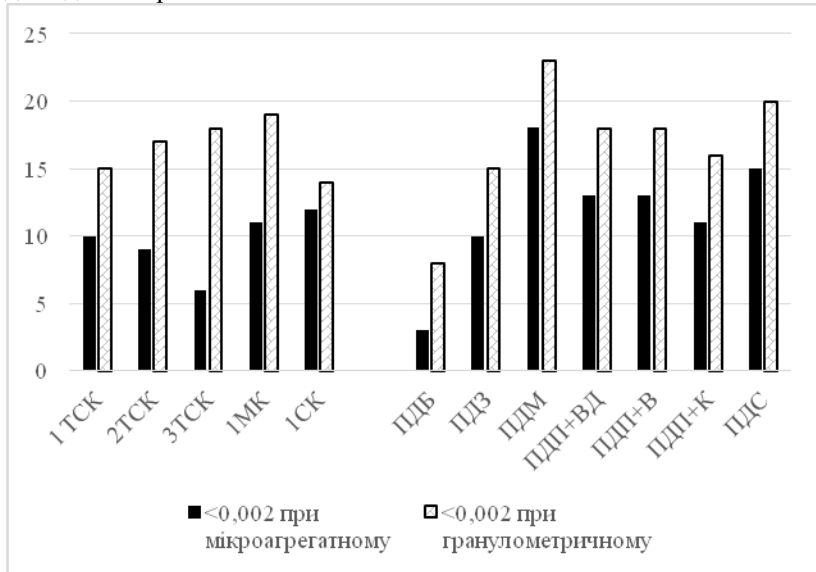


Рис. 1. Вміст ЕГЧ та мікроагрегатів, розміром менших за 0,002 мм, у варіантах досліді в шарі ґрунту 0–20 см

Ще більш інформативними показниками, які віддзеркалюють те, що відбувається з ґрунтовою масою, є фактор дисперсності Качинського, фактор структурності Фагелера та гранулометричний показник Вадюної (табл. 3). Проаналізувавши фактор дисперсності (Кд) у варіантах польового експерименту на північному схилі, ми

встановили його зміну в межах від 85,7 до 33,3, причому найбільшу під сільфією, а найменшу – під травами, зокрема у варіанті 3 ТСК. Таке збільшення у 2,6 разу показує, що коренева система сільфії здатна до дезагрегування ґрунтової маси. Встановлене явище є негативним, оскільки дезагрегування на сірих лісових ґрунтах завжди призводить до їх заплівання та кіркоутворення.

3. Показники дисперсності та структурності ґрунтової маси

| Шифр | Фактор дисперсності Качинського, Кд | Фактор структурності Фагелера, Кс | Гранулометричний показник структурності, ГПс |
|--------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 1ТСК (0–20) | 66,6 | 33,3 | 24,1 |
| 1ТСК (20–40) | 73,6 | 26,3 | 31,6 |
| 2ТСК (0–20) | 52,9 | 47,1 | 26,9 |
| 2ТСК (20–40) | 78,5 | 21,4 | 20,8 |
| 3ТСК (0–20) | 33,3 | 66,7 | 31,5 |
| 3ТСК (20–40) | 38,8 | 61,1 | 30 |
| 1МК (0–20) | 57,8 | 42,1 | 33,9 |
| 1МК (20–40) | 62,5 | 37,5 | 23,8 |
| 1СК (0–20) | 85,7 | 14,3 | 20,8 |
| 1СК (20–40) | 52,9 | 47,1 | 25 |
| ПДБ | 37,5 | 62,5 | 11,1 |
| БДЗ | 66,6 | 33,4 | 22,0 |
| ПДМ | 78,2 | 21,8 | 35,3 |
| ПДП + ВД | 72,2 | 27,8 | 27,6 |
| ПДП + В | 72,2 | 27,8 | 27,6 |
| ПДП + К | 68,7 | 31,3 | 23,1 |
| ПДС | 75,0 | 25,0 | 28,9 |

При порівнянні поведінки досліджуваного показника на різних глибинах встановлено, що в усіх варіантах, крім під сільфією, Кд з глибиною збільшується. Дезагрегування під сільфією має місце тільки у поверхневому горизонті, оскільки коефіцієнт зменшився з глибиною у 1,6 разу. У варіантах 1 ТСК, 2ТСК та 3ТСК показник з глибиною збільшується відповідно у 1,1 і 1,4 та 1,1 рази. Це може свідчити про стримуючу роль у ризосфері трав'янистих рослин.

Збільшення фактора дисперсності під міскантусом свідчить про погіршення оструктурення ґрунту під цією культурою у підповерхневих горизонтах. На південному схилі значення Кд

варіювало в межах від 37,5 до 78,2 %. Під міскантусом Кд збільшився у 2 рази порівняно з бобовими. Порівнюючи три варіанти під перелогом (ПДП + ВД, ПДП + В та ПДП + К), встановлено зростання фактора дисперсності відповідно до 72,2 %; 72,2 % та 68,7 %. Це свідчить, що досліджувані енергетичні та особливо трав'янисті культури протидіють тією чи іншою мірою дезагрегуванню ґрунтової маси. А зміна показника після внесення вапна та вапна і добрив незначна, що наштовхує на думку про незалежність досліджуваного показника від антропогенного впливу.

Фактор структурності (Кс) демонстрував протилежні закономірності, що є цілком логічним: чим менше ґрунт диспергований, тим він краще оструктурений. У варіантах польового експерименту на північному схилі Кс змінювався в межах від 14,3 % (під сильфією на глибині 0–20 см) до 66,7 (у варіанті ТСК (0–20 см)).

Якщо звернути увагу на глибину, то можна побачити, що фактор структурності з глибиною зменшився у 1–2 рази. Винятком є лише сильфія, під якою Кс збільшився у 3,4 разу. Щодо енергетичних культур, то під міскантусом на глибині 0–20 см Кс становить 42,1, а під сильфією – 14,3 %. Тобто коефіцієнт, а значить, і оструктурення зросли приблизно у 3 рази. На південному схилі фактор структурності варіював від 21,8 % (під міскантусом) до 62,5 % (під бобовими). Ділянка, яку ми брали для контролю, та ділянки з вапном та добривом аналогічно, як і фактор дисперсності, майже не показали змін: контроль 31,3 %, а у варіанті ПДП + ВД та ПДП + В коефіцієнт становив 27,8 %.

Гранулометричний показник структурності Вадюніної коливався в межах від 20,8 % під 2ТСК (20–40) та сильфією (0–20) до 31,6 % під 1ТСК (20–40). З глибиною збільшувався в таких варіантах, як 1ТСК та сильфія, а зменшувався – під 2ТСК, 3ТСК та міскантусом. На південному схилі гранулометричний показник структурності (ГПс) діагностовано в межах від 11,1 % (під ПДБ) до 35,3 % (під міскантусом). Цей показник під бобовими у 3 рази менший ніж під міскантусом. Якщо порівнювати показник під міскантусом на південному і північному схилах, то виявлено незначну різницю – відповідно 35,3 та 33,9 %. І на північному, і на південному схилах під міскантусом діагностовано найвищі значення показника ГПс.

Для з'ясування впливу динамічної зміни вологості ґрунтового зразка на його здатність формувати систему тріщин ми закладали модельні досліди, результати яких документували з єдиною періодичністю 6 год, 12 год та 24 год. Площу тріщин у відсотках від загальної площі зображення вираховували у програмі MultiScan.

Внаслідок цього встановлено суттєву різницю у кількості і площі пор, що сформувалися в згаданому досліді. У варіантах ПДБ та ПДЗ тріщини утворювалися вже на 12 год експерименту. У цих варіантах виявлялася і найменша площа тріщин.

Моделювання тріщиноутворення з ґрунтом з-під перелугу показало чітку різницю зі зменшенням кількості і величини тріщин від контролю до варіантів з додаванням вапна та добрива. Зокрема в ПДС система тріщин закладалася одразу після зволоження до ПВ та збільшувалися з інтервалом часу. Отже, цей варіант характеризувався найвищим відсотком тріщин, які і найшвидше формувалися.

Наведемо відсоткове збільшення площі тріщин від початку до кінця моделювання: ПДБ з перших тріщин до 24 год площа збільшилася на 0,1 %, ПДЗ – на 0,87 %, ПДМ – на 0,22 %, ПДП + В – на 0,27 %, ПДП + ВД – на 0,81 %, ПДП + К – на 2,91 %, ПДС – на 5,67 %.

На північному схилі перші тріщини сформувалися одразу після зволоження ґрунту в усіх цих варіантах. Найменший відсоток тріщин встановлено у варіантах ТСК та СК – відповідно 21,16 та 21,78 % на 24 год. У моделях досліді з ґрунтом під міскантусом виявлено, що у ґрунті з північного схилу тріщини утворювалися швидше та їх площа була більшою. Найбільша площа тріщин формувалася у варіантах 2ТСК та 3ТСК.

1ТСК з перших тріщин до 24 год площа збільшилася на 1,96 %, 2 ТСК – на 4,18 %, 3 ТСК – на 6,48 %, 1 СК – на 0,72 %, 1 МК – на 1,82 %.

У табл. 4 наведено головні ґрунтово-гідрологічні константи досліджуваних ґрунтів у різних варіантах експерименту та їх зміну з глибиною.

Аналіз отриманих результатів підтвердив генетичну природу ґрунту та його особливий статус розподілу тонкодисперсної маси. Водопроникність визначалася на всіх контрольних ділянках і коливалася в межах 1,1–2,0 см/год (на північному схилі) та 0,9–3,6 см/год (на південному схилі). Найбільша водопроникність (3,6 %) проявлялася у варіанті ПДБ, а найменша (0,9 %) – у варіанті ПДМ. Водопроникність під бобовими у 4 рази вища ніж під міскантусом, що є свідченням позитивного впливу бобових культур на властивості сірого лісового ґрунту.

З глибиною водопроникність зменшилася у таких варіантах, як 1ТСК у 1,5 разу та 1СК різниця була невеликою (лише з 1,7 на 1,6), а збільшилася у 2ТСК, 3ТСК, 1МК – відповідно у 1,3; 1,0 та 1,5 рази.

Відсоток, що відповідає точці в'янення, був найменшим у ПДБ і становив 9 %, а найбільшим – під міскантусом (13 %) на південному схилі. Значення всіх інших варіантів коливалися у межах 10–12 %, незалежно від експозиції схилу. Аналіз зміни значень точки в'янення показав, що глибина не впливає на цей показник.

4. Ґрунтово-гідрологічні показники та їх глибинна динаміка у варіантах польового експерименту

| Шифр | ТВ, % | НВ, % | ПВ, % | КВ, % | Водопроникність, см/год |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------------------------|
| 1ТСК (0–20) | 11 | 28 | 46 | 17 | 1,8 |
| 1ТСК (20–40) | 11 | 29 | 47 | 17 | 1,2 |
| 2ТСК (0–20) | 11 | 28 | 47 | 17 | 1,5 |
| 2ТСК (20–40) | 10 | 28 | 46 | 18 | 2,0 |
| 3ТСК (0–20) | 11 | 28 | 47 | 16 | 1,2 |
| 3ТСК (20–40) | 11 | 28 | 47 | 17 | 1,3 |
| 1МК (0–20) | 11 | 28 | 47 | 16 | 1,1 |
| 1МК (20–40) | 10 | 29 | 47 | 18 | 1,7 |
| 1СК (0–20) | 10 | 29 | 47 | 18 | 1,7 |
| 1СК (20–40) | 11 | 29 | 47 | 18 | 1,6 |
| ПДБ | 9 | 28 | 43 | 19 | 3,6 |
| ПДЗ | 10 | 28 | 46 | 18 | 1,9 |
| ПДМ | 13 | 31 | 49 | 18 | 0,9 |
| ПДП + ВД | 11 | 28 | 47 | 17 | 1,3 |
| ПДП + В | 11 | 29 | 47 | 17 | 1,4 |
| ПДП + К | 12 | 30 | 48 | 17 | 1,2 |
| ПДС | 12 | 30 | 49 | 18 | 1,3 |

Примітка: ТВ – точка в'янення, НВ – польова вологоємність, ПВ – повна вологоємність, КВ – доступна волога.

Польова вологоємність коливалася в межах від 28 до 31 %. Найвище значення (31 %) встановлено під міскантусом на південному схилі. Аналіз змін величини польової вологоємності був маловаріативним. Глибина та культура майже не вплинули на цей показник. Повна вологоємність коливалася від 43 до 49 % і характеризувалася найвищими значеннями під бобовими, а найменшими – під міскантусом та свічграсом на південному схилі.

Відомо, що не вся вода, яка міститься у ґрунті, доступна рослинам. Тому, з агрономічної точки зору, практичне значення має лише запас продуктивної вологи (понад величиною вологи в'янення),

яка може бути засвоєна рослинами. Найвищому зволоженню ґрунту в польових умовах відповідає найменша вологоємність. Тому різниця між НВ і ВВ буде відповідати максимально можливим запасам продуктивної вологи (ММЗПВ) у ґрунті. Такий вміст води називають діапазоном активної вологи. Практичне значення має показник дефіциту вологи (ДВ) у ґрунті. Під дефіцитом вологи в ненасичених водою ґрунтах розуміють різницю між НВ і фактичною вологістю в певний момент.

Важливою агрономічною характеристикою є запаси продуктивної вологи в орному шарі ґрунту на період сівби культур, а в подальшому в метровому шарі, де розміщується до 90–95 % коренів сільськогосподарських культур. Аналіз результатів, наведених в табл. 4, підтвердив генетичну природу ґрунту та його особливий статус розподілу тонкодисперсної маси. При цьому встановлено, що тип рослинності не впливає на головні ґрунтово-гідрологічні показники. Незначний вплив здійснюють кореневі системи кормових трав'янистих культур, особливо у шарі 0–20 см. Водопроникність визначалася на всіх контрольних ділянках і коливалася в межах 1,2–3,6 см/год.

Проведений кореляційний аналіз мав на меті виявити існування істотних взаємозв'язків між параметрами, що характеризують тверду фазу досліджуваного ґрунту, та його водно-фізичних властивостей. Це статистичне дослідження стохастичних залежностей між випадковими величинами може дати відповіді щодо впливу вирощуваної культури на властивості ґрунту, врешті, як і навпаки. Для проведення цього аналізу ми побудували багатовимірний комплекс.

Прямо пропорційну залежність на рівні тісного зв'язку встановлено для фактора дисперсності і вмісту найдрібніших мікроагрегатів ($R = 0,84$). Це є свідченням того, що у формуванні кірки беруть участь не тільки ЕГЧ, а і найдрібніші мікроагрегати. Прямо пропорційну залежність на рівні тісного зв'язку встановлено і для гранулометричного показника структурності Вадюніної. Цей показник тісно корелює з вмістом мулу ($R = 0,95$) та кількома водно-фізичними властивостями: точкою в'янення ($R = 0,73$) та повною вологоємністю ($R = 0,76$). Останні два показники залежать також і від вмісту мулу: пара мул та точка в'янення показала $R = 0,85$, а мул та ПВ утворили відповідно $R = 0,88$. Повна вологоємність зростає із підвищенням вмісту мікроагрегатів, що співрозмірні мулистій фракції ($R = 0,75$), а вміст пилуватих фракцій тісно корелює з капілярною вологоємністю ($R = 0,86$).

Загальна водопроникність прямо пропорційно залежить від вмісту мікроагрегатів, співрозмірних пилуватій фракції ($R = 0,74$). Варто відзначити, що для цих ґрунтів, утворених на лесоподібних суглинках, характерне домінування пилу у складі фракцій ЕГЧ. Обернено

пропорційні залежності (зростання одного показника веде до зменшення іншого) на рівні тісного зв'язку формуються для дещо більшої кількості пар, що в цілому зрозуміло, тому що серед досліджених параметрів є антагоністичні, наприклад, фактор дисперсності – фактор структурності. Очевидно, що для цієї пари формується зв'язок на рівні $R = -0,99(9)$. Між вмістом мікроагрегатів та фактором структурності утворена залежність оцінюється як $R = -0,84$, що пояснюється тією ж причиною.

Досить дивним є обернено пропорційний зв'язок між ГПС та капілярною вологоємністю ($R = -0,63$), а також і з загальною водопроникністю ($R = -0,89$). Такі залежності важко пояснити на рівні парних взаємодій. Чим вища водопроникність ґрунту, тим менше значення точки в'янення ($R = -0,79$) та повна вологоємність ($R = -0,89$). Вміст мулу формує тісний зворотний зв'язок з водопроникністю ($R = -0,92$) та вмістом мікроагрегатів, співрозмірних мулистій фракції ($R = -0,71$). Фракція мікроагрегатів, співрозмірна піщаним, обернено пропорційно залежить від величини найменшої вологоємності ($R = -0,72$).

Ми проводили кластерний аналіз у кілька етапів з альтернативним групуванням даних. Основна мета цього аналізу – віднайдення з усього масиву даних схожих груп та об'єктів у вибірці. Очевидно, що такий підхід не виявив чітких закономірностей. Навіть близькі показники (наприклад, фракції гранскладу та мікроагрегатного складу) формували різні кластери з різною дистанцією спорідненості. Тому було ухвалено рішення кластеризувати об'єкти за ґрунтовими показниками в межах варіантів польового експерименту (рис. 2).

Таке групування показало, що тільки варіанти з суцільним посівом бобових виокремилися в окремий кластер, що свідчить про їх особливий статус серед всіх варіантів польового експерименту. Але все одно, масив даних для кластеризації був занадто узагальненим.

На наступному етапі кластеризації ми виокремили варіанти за глибинами та географічним розташуванням, а потім знову спробували віднайти найменші відстані (а значить, і найтісніші взаємозв'язки) між парами. На північному схилі чітко виокремився окремий кластер (незалежно від глибини) з варіантом посіву тимофіївки, а на південному – варіанти з свічграсом та міскантусом, а також всі варіанти на перелозі, незалежно, чи вносили добрива та меліоранти, чи ні. Тому на наступному етапі ми проігнорували географічний аспект та згрупували масив за типом рослинності. Такий підхід дозволив побачити, що варіанти з посівом тимофіївки та бобових рослин сформували індивідуальний клас першого порядку, на противагу всім іншим рослинам. Вище ми вже згадували ці культури як такі, що виокремлювалися в індивідуальні класи, на противагу іншим культурам.

Отже, саме тимофіївка та бобові асоціації формують близький ефект впливу на параметри твердої фази. Дія може бути різною, результат – близький.

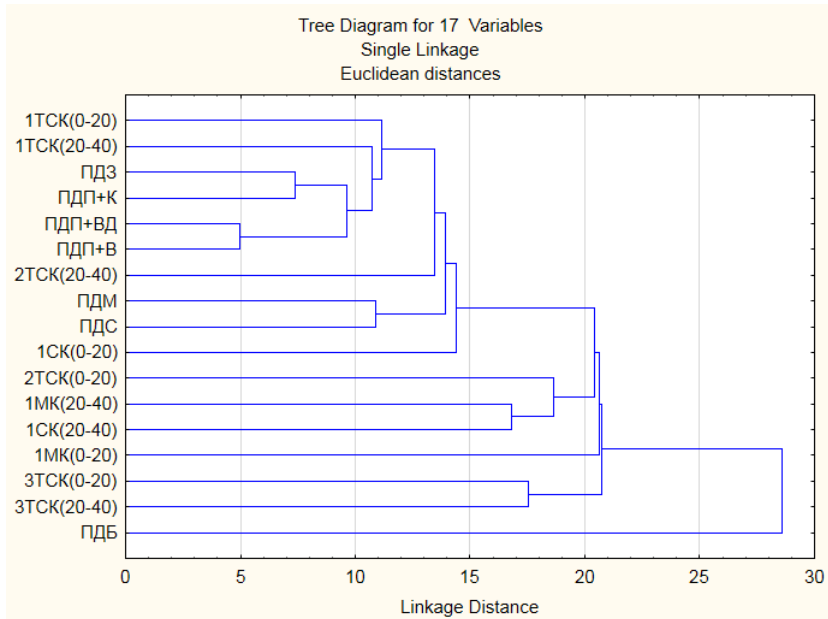


Рис. 2. Дендрограма подібності при кластеризації варіантів експерименту за всіма дослідженими ґрунтовими параметрами

Кластерування всіх варіантів польового експерименту по чергово зі всіма ґрунтовими параметрами дозволило знайти і ще одну закономірність. Бобові асоціації вже не вперше формують індивідуальний кластер з максимальною дистанцією при вивченні впливу типу рослинності на мікроагрегатний склад досліджуваного ґрунту. Таке кластеризування показало, що і різноманітні травосуміші в кореневмісному шарі мають вагомий результуючий вплив на мікроагрегатний склад. Крім травосумішей, подібний ефект встановлено і для міскантусу та сільфії (рис. 3).

Встановлено тенденцію залежності впливу міскантусу на мікроагрегатний склад від географічного розташування. Однак це тільки тенденція, а отриманих даних недостатньо для чіткого констатування.

Підсумовуючи, варто відзначити, що універсальність застосування кластерного аналізу ускладнює однозначне використання і несуперечливу інтерпретацію результатів.

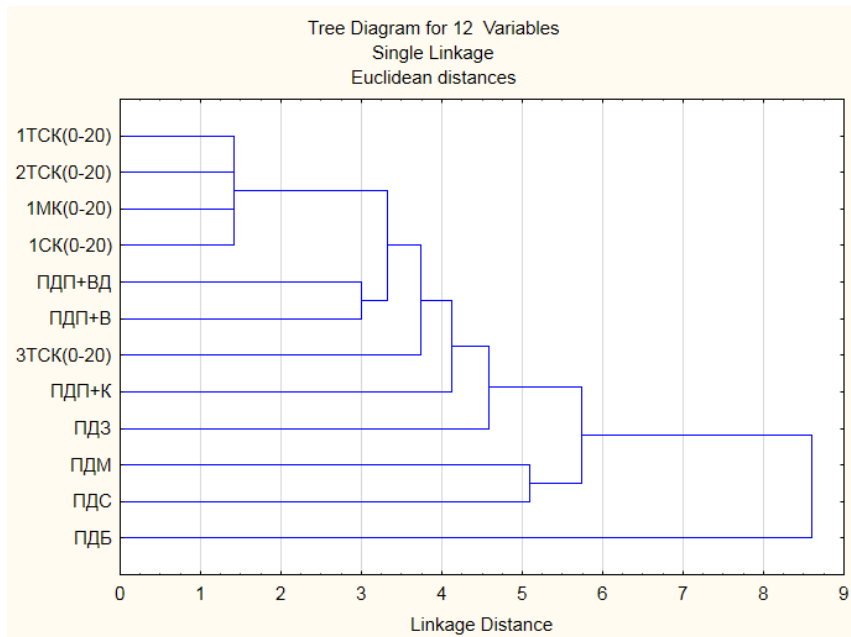


Рис. 3. Дендрограма подібності при визначенні впливу типу рослинності, географічного розташування та глибини відбору на мікроагрегатний склад досліджуваного ґрунту

Висновки. Показано, що гранулометричний склад є консервативним показником, який не залежить від типу вирощуваної культури та експозиції схилу. Він залежить від генетичної природи ґрунту. Агрегування в усіх розмірних діапазонах відбувається досить рівномірно, що свідчить про відсутність активної провокації диспергування ґрунтової маси залежно від культури. Варто говорити про відносну здатність до агрегування ґрунтової маси у ризосфері всіх досліджених рослин.

Встановлено, що високостебельні енергетичні рослини підвищують дезагрегованість ґрунтової маси, а кореневі системи трав'янистих рослин сприяють оструктуренню, про що свідчать значення фактора структурності та гранулометричного показника структурності.

Аналіз отриманих результатів підтвердив генетичну природу ґрунту та його особливий статус розподілу тонкодисперсної маси. При цьому встановлено, що тип рослинності взагалі не впливає на головні ґрунтово-гідрологічні показники. Незначний вплив здійснюють

кореневі системи кормових трав'янистих культур, особливо у шарі 0–20 см. Найдинамічнішим показником виявилася водопроникність, значення якої на всіх контрольних ділянках коливається в межах 1,2–3,6 см/год.

Кореляційний аналіз дозволив виявити пряму та обернену залежність на рівні тісного зв'язку між різними параметрами твердої фази ґрунту, а кластерний аналіз показав, що посіви тимофіївки та бобових асоціацій формують близький ефект впливу на параметри твердої фази.

Список використаної літератури

1. ДСТУ ISO 10381-1:2004. Відбирання проб. Частина 1: Настанови щодо складання програм відбору проб (ISO 10381-1:2002, IDT). [Чинний від 2004-11-30]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. С. 68.
2. ДСТУ ISO 11464:2007. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT). [Чинний від 2007-12-24]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. С. 52.
3. Шейн Е. В., Карпачевский Л. О. Теория и методы физики почв. Киев : Гриф и К, 2007. 620 с.
4. Biomass production in switchgrass across the United States: database description and determinants of yield / S. D. Wullschlegler et al. *Agronomy Journal*. 2010. Vol. 102. P. 1158–1168.
5. Biomass yield of switchgrass cultivars under high-versus low-input conditions / M. D. Casler et al. *Crop Sci*. 2017. Vol. 57. P. 821–832.
6. Conversion of cropland to forage land and grassland increases soil labile carbon and enzyme activities in northeastern China / P. Yu et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2017. Vol. 245. P. 83–91.
7. Distribution of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) aboveground biomass in response to nitrogen addition and across harvest dates / J. R. Miesel et al. *Biomass and Bioenergy*. 2017. Vol. 100. P. 74–83.
8. Drought effects on the early development stages of *Panicum virgatum* L.: cultivar differences / D. Aimar et al. *Biomass and Bioenergy*. 2014. Vol. 66. P. 49–59.
9. Effect of irrigation and nitrogen

References

1. DSTU ISO 10381-1:2004. Samples selection. Part 1: Directives on making programs for samples selection (ISO 10381-1:2002, IDT). [Valid from 2004-11-30]. Official publication. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006. P. 68.
2. DSTU ISO 11464:2007. Preliminary treatment of samples for physical-chemical analysis (ISO 11464:2006, IDT). [Valid from 2007-12-24]. Official publication. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. P. 52.
3. Shein E. V., Karpachevskiy L. O. Theory and methods of soils physics. Kyiv : Grif and K, 2007. 620 p.
4. Biomass production in switchgrass across the United States: database description and determinants of yield / S. D. Wullschlegler et al. *Agronomy Journal*. 2010. Vol. 102. P. 1158–1168.
5. Biomass yield of switchgrass cultivars under high-versus low-input conditions / M. D. Casler et al. *Crop Sci*. 2017. Vol. 57. P. 821–832.
6. Conversion of cropland to forage land and grassland increases soil labile carbon and enzyme activities in northeastern China / P. Yu et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2017. Vol. 245. P. 83–91.
7. Distribution of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) aboveground biomass in response to nitrogen addition and across harvest dates / J. R. Miesel et al. *Biomass and Bioenergy*. 2017. Vol. 100. P. 74–83.
8. Drought effects on the early development stages of *Panicum virgatum* L.: cultivar differences / D. Aimar et al. *Biomass and Bioenergy*. 2014. Vol. 66. P. 49–59.
9. Effect of irrigation and nitrogen

fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of *Miscanthus* / L. Ercoli et al. *Field Crop Res.* 1999. Vol. 63. P. 3–11.

10. Effects of soil water content and nitrogen supply on the productivity of *Miscanthus* × *giganteus* Greef et Deu. In a Mediterranean environment / S. L. Cosentino et al. *Ind. Crops Prod.* 2007. Vol. 25. P. 75–88.

11. Elgersma A., Sjøegaard K. Effects of species diversity on seasonal variation in herbage yield and nutritive value of seven binary grass-legume mixtures and pure grass under cutting. *European Journal of Agronomy.* 2016. Vol. 78. P. 73–83.

12. Empirical geographic modeling of switchgrass yields in the United States / H. I. Jager et al. *GCB Bioenergy.* 2010. Vol. 2. P. 248–257.

13. Estimating generalized soil-water characteristics from texture / K. E. Saxton et al. *Soil Science Society America Journal.* 1986. Vol. 50 (4). P. 1031–1036.

14. Forage yield, soil water depletion, shoot nitrogen and phosphorus uptake and concentration, of young and old stands of alfalfa in response to nitrogen and phosphorus fertilisation in a semiarid environment / J. W. Fan et al. *Field Crops Research.* 2016. Vol. 198. P. 247–257.

15. Gansberger M., Montgomery L. F. R., Liebhard P. Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: A review. *Industrial Crops and Products.* 2015. Vol. 63. P. 362–372.

16. Gee G. W., Bauder J. W. Particle-size analysis / Klute A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods.* 2nd edition. Agronomy Monograph. Vol. 9. Madison, Wisconsin : ASA-SSSA, 1986. P. 427–445.

17. Genesis and evolution of the fragipan in Albeluvisols in the Precarpathians in Ukraine / V. Nikorych et al. *Catena.* 2014. Vol. 119. P. 154–165.

18. Georgescu M., Lobell D. B., Field C. B. Direct climate effects of perennial bioenergy crops in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2011. Vol. 108. P. 4307–4312.

fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of *Miscanthus* / L. Ercoli et al. *Field Crop Res.* 1999. Vol. 63. P. 3–11.

10. Effects of soil water content and nitrogen supply on the productivity of *Miscanthus* × *giganteus* Greef et Deu. In a Mediterranean environment / S. L. Cosentino et al. *Ind. Crops Prod.* 2007. Vol. 25. P. 75–88.

11. Elgersma A., Sjøegaard K. Effects of species diversity on seasonal variation in herbage yield and nutritive value of seven binary grass-legume mixtures and pure grass under cutting. *European Journal of Agronomy.* 2016. Vol. 78. P. 73–83.

12. Empirical geographic modeling of switchgrass yields in the United States / H. I. Jager et al. *GCB Bioenergy.* 2010. Vol. 2. P. 248–257.

13. Estimating generalized soil-water characteristics from texture / K. E. Saxton et al. *Soil Science Society America Journal.* 1986. Vol. 50 (4). P. 1031–1036.

14. Forage yield, soil water depletion, shoot nitrogen and phosphorus uptake and concentration, of young and old stands of alfalfa in response to nitrogen and phosphorus fertilisation in a semiarid environment / J. W. Fan et al. *Field Crops Research.* 2016. Vol. 198. P. 247–257.

15. Gansberger M., Montgomery L. F. R., Liebhard P. Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: A review. *Industrial Crops and Products.* 2015. Vol. 63. P. 362–372.

16. Gee G. W., Bauder J. W. Particle-size analysis / Klute A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods.* 2nd edition. Agronomy Monograph. Vol. 9. Madison, Wisconsin : ASA-SSSA, 1986. P. 427–445.

17. Genesis and evolution of the fragipan in Albeluvisols in the Precarpathians in Ukraine / V. Nikorych et al. *Catena.* 2014. Vol. 119. P. 154–165.

18. Georgescu M., Lobell D. B., Field C. B. Direct climate effects of perennial bioenergy crops in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2011. Vol. 108. P. 4307–4312.

19. Heaton E. A., Dohleman F. G., Long S. P. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of Miscanthus. *Glob Chang Biol.* 2008. Vol. 14. P. 2000–2014.

20. Heaton E., Voigt T., Long S. P. A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass Bioenergy.* 2004. Vol. 27. P. 21–30.

21. IEA. Technology roadmap: biofuels for transport. Paris, France : OECD Publishing, 2011. P. 56. URL: <https://fiva.org/wp-content/uploads/2019/04/Technology-Biofuels-for-Transport.pdf> (last accessed: 21.10.2020).

22. Influence of degree of fragmentation on chosen quality parameters of briquette made from biomass of cup plant *Silphium perfoliatum* L. / M. Wrobel et al. ; Latvia University of Agriculture (Ed.). *Engineering for Rural Development.* Presented at the 12th International Scientific Conference. Jelgava : Latvia University of Agriculture, 2013. P. 653–657.

23. Influences of nitrogen fertilization and climate regime on the above-ground biomass yields of miscanthus and switchgrass: A meta-analysis / H. Chen et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2019. Vol. 108. P. 303–311.

24. IPCC. Special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Summary for policy-makers. 2011. P. 26. URL: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Summary-for-Policymakers-1.pdf> (last accessed: 21.10.2020).

25. Is UK biofuel supply from Miscanthus water-limited? / G. Richter et al. *Soil Use Manag.* 2008. Vol. 24. P. 235–245.

26. Knopf B., Nahmmacher P., Schmid E. The European renewable energy target for 2030 – An impact assessment of the electricity sector. *Energy Policy.* 2015. Vol. 85. P. 50–60.

27. Majtkowski W., Piłat J., Szulc P. M. Prospects of cultivation and utilization of *Silphium perfoliatum* L. in Poland. *Biul. IJAR.* 2009. Vol. 251. P. 283–291.

28. Miscanthus for biogas production: influence of harvest date and ensiling on

19. Heaton E. A., Dohleman F. G., Long S. P. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of Miscanthus. *Glob Chang Biol.* 2008. Vol. 14. P. 2000–2014.

20. Heaton E., Voigt T., Long S. P. A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass Bioenergy.* 2004. Vol. 27. P. 21–30.

21. IEA. Technology roadmap: biofuels for transport. Paris, France : OECD Publishing, 2011. P. 56. URL: <https://fiva.org/wp-content/uploads/2019/04/Technology-Biofuels-for-Transport.pdf> (last accessed: 21.10.2020).

22. Influence of degree of fragmentation on chosen quality parameters of briquette made from biomass of cup plant *Silphium perfoliatum* L. / M. Wrobel et al. ; Latvia University of Agriculture (Ed.). *Engineering for Rural Development.* Presented at the 12th International Scientific Conference. Jelgava : Latvia University of Agriculture, 2013. P. 653–657.

23. Influences of nitrogen fertilization and climate regime on the above-ground biomass yields of miscanthus and switchgrass: A meta-analysis / H. Chen et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2019. Vol. 108. P. 303–311.

24. IPCC. Special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Summary for policy-makers. 2011. P. 26. URL: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Summary-for-Policymakers-1.pdf> (last accessed: 21.10.2020).

25. Is UK biofuel supply from Miscanthus water-limited? / G. Richter et al. *Soil Use Manag.* 2008. Vol. 24. P. 235–245.

26. Knopf B., Nahmmacher P., Schmid E. The European renewable energy target for 2030 – An impact assessment of the electricity sector. *Energy Policy.* 2015. Vol. 85. P. 50–60.

27. Majtkowski W., Piłat J., Szulc P. M. Prospects of cultivation and utilization of *Silphium perfoliatum* L. in Poland. *Biul. IJAR.* 2009. Vol. 251. P. 283–291.

28. Miscanthus for biogas production: influence of harvest date and ensiling on

digestibility and methane hectare yield / A. Mangold et al. *GCB Bioenergy*. 2019. Vol. 11. P. 50–62.

29. Miscanthus×giganteus productivity: the effects of management in different environments / M. Maughan et al. *GCB Bioenergy*. 2012. Vol. 4. P. 253–265.

30. Multi-parameter assessment of soil quality under Miscanthus x giganteus crop at marginal sites in Île-de-France / C. Bрами et al. *Biomass and Bioenergy*. 2020. Vol. 142. P. 105793.

31. N₂O emission from energy crop fields of Miscanthus “Giganteus” and winter rye / R. N. Jørgensen et al. *Atmos Environ*. 1997. Vol. 31. P. 2899–2904.

32. Nikorych V., Szymański W., Skiba M. Redoximorphic Features in Albeluvisols from South-Western Ukraine. *Soil Science Working for a Living*. Springer, Cham, 2017. P. 9–28.

33. Nitrogen fertilization effects on biomass production and yield components of Miscanthus× giganteus / M.-S. Lee et al. *Front Plant Sci*. 2017. Vol. 8. P. 544.

34. Nutrient requirements of Miscanthus x giganteus: conclusions from a review of published studies / S. Cadoux et al. *Biomass Bioenergy*. 2012. Vol. 38. P. 14–22.

35. Overseeding legumes in natural grasslands: Impacts on root biomass and soil organic matter of commercial farms / V. Bondaruk et al. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 743. P. 140771.

36. Palmer R. C., Smith R. P. Soil structural degradation in SW England and its impact on surface-water runoff generation. *Soil Use Manage*. 2013. Vol. 29. P. 567–575.

37. Pichard G. Management, production, and nutritional characteristics of cup plant (*Silphium perfoliatum*) in temperate climates of southern Chile. *Cien. Inv. Agr*. 2012. Vol. 39. P. 61–77.

38. Polley H. W., Collins H. P., Fay P. A. Biomass production and temporal stability are similar in switchgrass monoculture and diverse grassland. *Biomass and Bioenergy*. 2020. Vol. 142. P. 105758.

39. Potential of four forage grasses in remediation of Cd and Zn contaminated soils / X. Zhang et al. *Bioresour. Technol*. 2010. Vol. 101. P. 2063–2066.

digestibility and methane hectare yield / A. Mangold et al. *GCB Bioenergy*. 2019. Vol. 11. P. 50–62.

29. Miscanthus×giganteus productivity: the effects of management in different environments / M. Maughan et al. *GCB Bioenergy*. 2012. Vol. 4. P. 253–265.

30. Multi-parameter assessment of soil quality under Miscanthus x giganteus crop at marginal sites in Île-de-France / C. Bрами et al. *Biomass and Bioenergy*. 2020. Vol. 142. P. 105793.

31. N₂O emission from energy crop fields of Miscanthus “Giganteus” and winter rye / R. N. Jørgensen et al. *Atmos Environ*. 1997. Vol. 31. P. 2899–2904.

32. Nikorych V., Szymański W., Skiba M. Redoximorphic Features in Albeluvisols from South-Western Ukraine. *Soil Science Working for a Living*. Springer, Cham, 2017. P. 9–28.

33. Nitrogen fertilization effects on biomass production and yield components of Miscanthus× giganteus / M.-S. Lee et al. *Front Plant Sci*. 2017. Vol. 8. P. 544.

34. Nutrient requirements of Miscanthus x giganteus: conclusions from a review of published studies / S. Cadoux et al. *Biomass Bioenergy*. 2012. Vol. 38. P. 14–22.

35. Overseeding legumes in natural grasslands: Impacts on root biomass and soil organic matter of commercial farms / V. Bondaruk et al. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 743. P. 140771.

36. Palmer R. C., Smith R. P. Soil structural degradation in SW England and its impact on surface-water runoff generation. *Soil Use Manage*. 2013. Vol. 29. P. 567–575.

37. Pichard G. Management, production, and nutritional characteristics of cup plant (*Silphium perfoliatum*) in temperate climates of southern Chile. *Cien. Inv. Agr*. 2012. Vol. 39. P. 61–77.

38. Polley H. W., Collins H. P., Fay P. A. Biomass production and temporal stability are similar in switchgrass monoculture and diverse grassland. *Biomass and Bioenergy*. 2020. Vol. 142. P. 105758.

39. Potential of four forage grasses in remediation of Cd and Zn contaminated soils / X. Zhang et al. *Bioresour. Technol*. 2010. Vol. 101. P. 2063–2066.

40. Response of switchgrass yield and quality to harvest season and nitrogen fertilizer / A. Sadeghpour et al. *Agron. J.* 2014. Vol. 106. P. 290–296.

41. Siaudinis G., Slepetic A., Karcauskien D. The evaluation of dry mass yield of new energy crops and their energetic parameters / Rivza ˇ P., Rivza ˇ S. (Eds.). *Renewable Energy and Energy Efficiency*. Presented at the International Scientific Conference. Jelgava : Latvia University of Agriculture, 2012. P. 24–28.

42. Soil texture and crop management affect switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in the Mediterranean / N. N. O Di Nasso et al. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 65. P. 21–26.

43. Springer T. L. Effect of nitrogen fertilization and residual nitrogen on biomass yield of switchgrass. *Bioenergy Res.* 2017. Vol. 10. P. 648–656.

44. Switchgrass yield response functions and profit-maximizing nitrogen rates on four landscapes in Tennessee / C. N. Boyer et al. *Agron J.* 2012. Vol. 104 (6). P. 1579–1588.

45. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe / I. Lewandowski et al. *Biomass Bioenergy*. 2003. Vol. 25. P. 335–361.

46. Towards high-biomass yielding bioenergy crop *Silphium perfoliatum* L.: phenotypic and genotypic evaluation of five cultivated populations / C. Wever et al. *Biomass and Bioenergy*. 2019. Vol. 124. P. 102–113.

47. Water use patterns of forage cultivars in the North China Plain / G. Pan et al. *Int. J. Plant Prod.* 2011. Vol. 5. P. 181–194.

48. Yield and quality development comparison between miscanthus and switchgrass over a period of 10 years / Y. Iqbal et al. *Energy*. 2015. Vol. 89. P. 268–276.

40. Response of switchgrass yield and quality to harvest season and nitrogen fertilizer / A. Sadeghpour et al. *Agron. J.* 2014. Vol. 106. P. 290–296.

41. Siaudinis G., Slepetic A., Karcauskien D. The evaluation of dry mass yield of new energy crops and their energetic parameters / Rivza ˇ P., Rivza ˇ S. (Eds.). *Renewable Energy and Energy Efficiency*. Presented at the International Scientific Conference. Jelgava : Latvia University of Agriculture, 2012. P. 24–28.

42. Soil texture and crop management affect switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in the Mediterranean / N. N. O Di Nasso et al. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 65. P. 21–26.

43. Springer T. L. Effect of nitrogen fertilization and residual nitrogen on biomass yield of switchgrass. *Bioenergy Res.* 2017. Vol. 10. P. 648–656.

44. Switchgrass yield response functions and profit-maximizing nitrogen rates on four landscapes in Tennessee / C. N. Boyer et al. *Agron J.* 2012. Vol. 104 (6). P. 1579–1588.

45. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe / I. Lewandowski et al. *Biomass Bioenergy*. 2003. Vol. 25. P. 335–361.

46. Towards high-biomass yielding bioenergy crop *Silphium perfoliatum* L.: phenotypic and genotypic evaluation of five cultivated populations / C. Wever et al. *Biomass and Bioenergy*. 2019. Vol. 124. P. 102–113.

47. Water use patterns of forage cultivars in the North China Plain / G. Pan et al. *Int. J. Plant Prod.* 2011. Vol. 5. P. 181–194.

48. Yield and quality development comparison between miscanthus and switchgrass over a period of 10 years / Y. Iqbal et al. *Energy*. 2015. Vol. 89. P. 268–276.

Отримано 22.07.2020