

АГРОБІОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ГЛИБИНИ ПОСІВУ НА ДРУЖНІСТЬ СХОДІВ І СТРУКТУРУ ВРОЖАЮ ЦУКРОВОГО БУРЯКА

КИСЕЛЬОВ Д.О. – кандидат сільськогосподарських наук

orcid.org/0009-0005-6771-8337

ПП «Західний Буг»

БЛЯТНИК Т.С.

orcid.org/0009-0001-1712-3117

ПП «Західний Буг»

НІНУА О.В.

orcid.org/0009-0009-2036-9255

ТОВ «ТАС Агро»

КАЛЕНСЬКА С.М. – доктор сільськогосподарських наук,

академік Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0002-3392-837X

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Міністерства освіти і науки України

Постановка проблеми. У технології вирощування цукрового буряка (*Beta vulgaris* L.) одним із базових керованих чинників є оптимальна глибина сівби насіння. Вона визначає параметри мікросередовища зародка та проростка і, відповідно, впливає на швидкість проростання (дружність та синхронність сходів) й темпи початкового росту, що у підсумку відображається на структурі врожаю (кількість, розмір й вага коренеплодів, вихід цукру). З огляду на кліматичні тренди та зростання вимог до ресурсної ефективності, постає потреба систематизовано викласти механізми, через які глибина сівби модулює процеси розвитку рослин й формування продуктивності посіву.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основною керованістю процесу є якість посівного ложа. Показано, що смуговий обробіток (strip-tillage) підвищує температуру в зоні насіння, поліпшує фізичні властивості ґрунту (менше ущільнення, краща агрегатна структура) та створює сприятливі умови для старту проростка [13]. Це означає, що глибина сівби не може визначатися ізольовано – вона має враховувати фонові параметри ложа (температуру, вологість, аерацію, механічну опірність), які суттєво змінюються залежно від системи обробітку.

Ключовим чинником дружніх сходів є контакт насіння з ґрунтом: саме він визначає динаміку водопоглинання та ініціацію метаболічних процесів проростання. Недостатня глибина збільшує ризик пересихання та перегріву верхнього шару; надмірна – погіршує аерацію та може знижувати швидкість проростання [4]. Отже, підготовка ложа та належне загортання виступають проміжною ланкою між агротехнічним параметром (глибина) і дружністю сходів.

Ефект глибини сівби реалізується на тлі власної енергії проростання насіння. Екологічні та материнські ефекти формують варіабельність проросткових ознак: за зниженої життєздатності насіння навіть «правильна» глибина не гарантує високої друж-

ності [15]. Тому оцінка і добір насіннєвого матеріалу є необхідною умовою коректного налаштування глибини.

Системи мінімального та консерваційного обробітку змінюють структуру, вологість і тепловий режим верхнього шару, тим самим модулюючи оптимум глибини для конкретного поля і сезону [5]. За strip-till, де верхній прошарок тепліший і краще структурований, доцільнішою буде менша глибина загортання, яка при цьому не спричинить втрат дружності; за традиційної оранки, навпаки, дещо більша глибина знижує ризик пересихання в умовах весняної мінливості [1, 9].

Структура врожаю – розподіл коренеплодів за масою, густина стояння, вихід цукру – чутлива до синхронності появи сходів. За неоднорідної глибини або неналежного загортання зростає асинхронність сходів, посилюється конкуренція між рослинами, а варіабельність розміру коренеплодів і вмісту цукру збільшується [22]. Доведено також, що технологічний варіант обробітку може посилювати або послаблювати вплив глибини на продуктивність [9], а взаємодія з азотним живленням визначає кінцеві параметри врожайності та якості [1].

Сценарії зміни клімату ймовірно змінюватимуть «вікна» оптимального здійснення посіву, зокрема гідро-термічні умови верхнього шару, що прямо впливає на вибір глибини. Імітаційні підходи демонструють вагомість ранніх структурних зрушень у посіві для подальшої продуктивності, що підсилює тезу про неізольованість параметра глибини від кліматичних та агротехнічних умов [12].

Практики праймінгу насіння підвищують швидкість і рівномірність проростання за стресових температур, що дає змогу гнучкіше варіювати глибину без втрати дружності [6, 11]. Таким чином, глибина сівби функціонує як ланка зв'язку між фізикою посівного ложа та фізіологією насіння і її оптимум має визначатися в комплексі з насіннєвими та ґрунтовими параметрами.

За коротких ротацій (часті попередники з великою масою решток або потенційним ущільненням) верхній шар 0–5 см характеризується підвищеною варіабельністю волого-теплогового режиму. Емпіричні дані свідчать, що за strip-till доцільно зменшувати глибину на ~0,5–1,0 см порівняно з оранкою – кращий прогрів і стабільніше зволоження дозволяють зберегти дружність сходів; натомість у пухкому, але швидко висихаючому поверхневому шарі після глибокого основного обробітку раціонально поглиблювати загортання [14]. Таке адаптивне налаштування частково нівелює негативний ефект інтенсифікації ротацій на однорідність посіву.

Навіть ± 1 см відхилення від оптимуму може розтягувати появу сходів на 3–4 дні, сповільнюючи змикання рядків і знижуючи конкурентоздатність у ранніх фазах [22]. Це транслюється у більшу дисперсію мас коренеплодів і частку недорозвинених рослин [23]. За прохолодної весни надмірна глибина асоціюється з нижчою енергією проростання і диспропорційною структурою врожаю [7]. А от однорідні сходи позитивно корелюють із вмістом сахарози та часткою товарних коренеплодів [8, 16].

Оптимізація глибини в поєднанні зі смуговим або прямим висівом сприяє зменшенню витрат пального та GHG-викидів без шкоди для продуктивності, що є критично важливим у високонавантажених коротких ротаціях [20].

Диференційований контроль глибини в межах поля на основі карт щільності/вологи та сенсорів посівних агрегатів – реальний інструмент підвищення індексу дружності сходів (EFI) і зниження внутрішньопольової варіабельності [2]. Агрономічні настанови й узагальнення для різних систем (включно з принципами налаштувань сівби) подані у сучасних керівництвах, що підкреслює системний характер параметра глибини в структурі прийняття рішень [17].

Мета. Метою дослідження було кількісно оцінити вплив різної глибини загортання насіння цукрового буряка на параметри початкового розвитку рослин, динаміку появи сходів та формування врожайності, а також визначити оптимальний діапазон загортання для конкретних гідротермічних умов Західного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проведено у 2025 році на виробничо-дослідному полі підрозділу Шимківці ТОВ «Західний Буг», Бродівський район, Львівської області (49°97' N, 25°15' E). Ґрунт – чорнозем опідзолений середньосуглинковий з вмістом гумусу 3,4 %, рН (KCl) 6,7, забезпеченістю рухомим фосфором – 58 мг P₂O₅/кг, калієм – 112 мг K₂O/кг. Середньорічна кількість опадів у зоні – 640 мм, середньодобова температура

в період вегетації (квітень–жовтень) – 17,1 °C. Весна 2025 року характеризувалася підвищеною кількістю вологи в першій декаді квітня (до 28 мм опадів) і нижчою середньодобовою температурою ґрунту (+8...+10 °C) під час сівби, що зумовило різницю у швидкості проростання між варіантами глибини посіву.

Об'єктом дослідження був цукровий буряк (*Beta vulgaris* L.), гібрид KBC Ріоріта.

Дослід однофакторний, закладений за методом випадкових блоків у триразовій повторності (таблиця 1). Площа облікової ділянки – 25 м², повторність – триразова.

Обробіток ґрунту проводили за класичною комбінованою системою, яка передбачала основний обробіток ґрунту агрегатом Horsch Tiger AS на глибину 30–32 см, весняне боронування агрегатом Degelman StrawMaster, передпосівну культивування агрегатом FARMET Kompaktomat на глибину 2,5–3,5 см. Передпосівна вологість орного шару становила 22,8 %, щільність – 1,25 г/см³, температура ґрунту на глибині 5 см – 10,2 °C. Посів культури здійснювали 17 квітня 2025 року сівалкою Kverneland Monopii 24SE зі швидкістю руху 8 км/год, за норми сівби 120 тис. насінин/га та ширини міжрядь 45 см. Догляд за посівами включав гербіцидні та фунгіцидні обробки відповідно до технологічної карти підприємства. Під час вегетації застосовували стандартну систему захисту культури від бур'янів, шкідників і хвороб, прийняту для умов регіону. Підживлення посівів проводили у фазі 4–6 листків шляхом внесення аміачної селітри в дозі 34 кг N/га.

Обліки проводили через 6, 7, 8, 9, 10 діб після посіву. Польову схожість (%) визначали за формулою (1):

$$P = \frac{N_f}{N_s} \quad (1)$$

де N_f – кількість пророслих рослин на площі обліку, N_s – кількість висіяного насіння.

Дружність сходів (%) визначали як відношення кількості рослин, що зійшли до 10-го дня, до їх кількості на 15-й день. Додатково оцінювали кількість листків на рослину та висоту проростків за методикою Podlaski & Chomontowski [19].

Після змикання рядків (ВВСН 16–18) проводили підрахунок рослин у 4 рядках по 22,2 м. Коефіцієнт рівномірності визначали за відхиленням між середньою та фактичною відстанню між рослинами [19]. Методика обліку врожайності – на площі 10 м² викопували всі коренеплоди. Визначали середню масу коренеплоду, кількість товарних і нетоварних, частку дрібних (менше 300 г) і перерослих (понад 1,2 кг). Зразки відбирали для аналізу вмісту саха-

Таблиця 1 – Схема дослідів

Варіант	Глибина сівби, см	Норма сівби, тис. насінин/га	Обробіток ґрунту
1	2,0	120	класичний комбінований
2	3,0	120	класичний комбінований
3	4,0	120	класичний комбінований
4	5,0	120	класичний комбінований

рози, сухої речовини та домішок за поляриметричною методикою ICUMSA [8, 16].

Метеорологічні дані фіксували станцією Davis Vantage Pro2, яка розташована безпосередньо на полі досліді.

Обробку експериментальних даних проводили за допомогою Statistica 13.3 та Microsoft Excel 365. Застосовували дисперсійний аналіз (ANOVA), тест Дункана ($p < 0.05$) та регресійне моделювання для визначення оптимальної глибини сівби.

Кореляційні залежності між глибиною, польовою схожістю, масою коренеплоду та вмістом сахарози обчислювали за методом Пірсона. Коефіцієнт варіації (CV), лінійні кореляції (r) між глибиною сівби, дружністю сходів, масою коренеплоду і вмістом цукру розраховували згідно з методикою Varga et al. [22]. Для аналізу структури врожаю використано мультифакторну регресію, де пояснювальними змінними виступали глибина сівби, температура ґрунту, вологість і густота сходів.

Результати досліджень. У результаті проведених у 2025 році досліджень у Золочівському районі Львівської області встановлено чіткий вплив глибини сівби насіння цукрового буряка (*Beta vulgaris* L.) на швидкість проростання, дружність сходів та густоту стояння рослин. Польові спостереження засвідчили, що за класичної комбінованої системи обробітку ґрунту, середньої вологості орного шару 22–24 % та температури ґрунту 10,2 °C різна глибина сівби істотно змінює хід і динаміку отримання сходів. За зменшення глибини загортання насіння до 1–2 см кількість рослин на 22,2 м рядка становила 113 шт., що відповідало лише 6 % відхилення від заданої густоти 120 тис./га. Зі збільшенням глибини до 2–3 см показник знижувався до 104 рослин, що відповідало 13 % відхилення, тоді як при 3–4 і 4–5 см густота становила 112 рослин (7 % відхилення). Отже, надмірне заглиблення не спричинило істотного зменшення кількості сходів, проте суттєво вплинуло на їх синхронність і швидкість проростання.

Динаміка появи сходів свідчила, що найвищу енергію проростання спостерігали у варіанті з гли-

биною сівби 1–2 см, де протягом перших шести днів після посіву з'явився 21 % рослин, на сьомий день – 26 %, а на восьмий – 47 %, тобто 94 % сходів сформувалися в оптимальний термін (до 72 год). За сівби на глибину 2–3 см цей показник знизився до 85 %, а за 3–4 см – до 77 %. Найменший рівень дружності зафіксовано у варіанті з глибиною 4–5 см, де лише 60 % насіння проросло у межах оптимального часу, а 40 % сходів з'явилися із запізненням на понад 72 години. Таким чином, подовження періоду сходів зі збільшенням глибини сівби свідчить про зниження енергії проростання, що узгоджується з результатами досліджень Blunk et al. [4] і Podlaski & Chomontowski [18], які встановили, що дефіцит кисню та зменшення теплової енергії в глибших шарах ґрунту істотно сповільнюють розвиток проростка.

Аналіз співвідношення сходів, отриманих у межах оптимального періоду, до загальної кількості виявив параболічну залежність (2) між глибиною сівби та дружністю, описану рівнянням

$$Y = -9.68x^2 + 59.13x + 36.25 \text{ при } R^2 = 0.94. \quad (2)$$

Дослідженнями встановлено, що глибина загортання насіння істотно впливає на ріст, розвиток та формування продуктивності рослин цукрових буряків. У варіантах досліді з глибиною посіву від 2 до 5 см відзначено відмінності за масою коренеплоду, цукристістю та біологічною врожайністю. Середня маса коренеплодів коливалася в межах 550–700 г залежно від глибини посіву. Найбільшу масу (700 г) сформували рослини у варіанті із глибиною 3 см, що свідчить про оптимальні умови для проростання насіння, рівномірність сходів і формування потужного листового апарату. За мілкішого загортання (2 см) спостерігалось дещо гірше укорінення, а за глибшого (4–5 см) – уповільнення проростання та зниження маси коренеплодів. Цукристість коренеплодів варіювала у межах 15,30–16,70 %, однак найвищий вихід цукру забезпечили саме варіанти з глибиною посіву 2–3 см. Біологічна врожайність на 10.09 у цих варіантах становила відповідно 61,75–66,5 т/га, а вихід цукру – 9,97–10,63 т/га, що

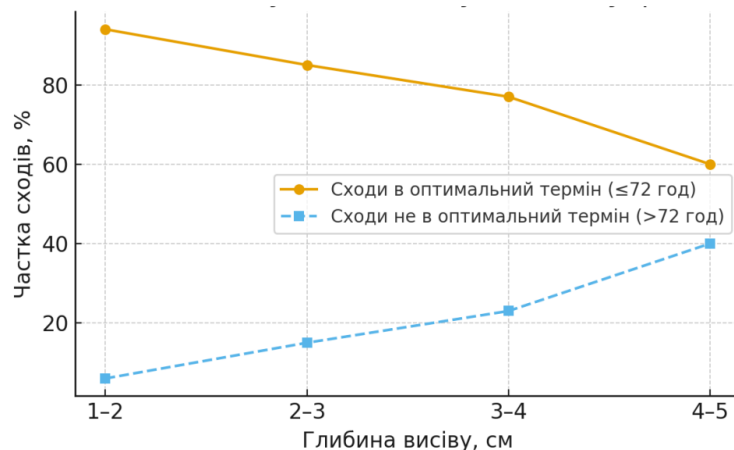


Рис. 1. Вплив глибини посіву на динаміку сходів цукрового буряка

є найвищими показниками серед досліджуваних глибин (рис. 2).

Збільшення глибини сівби до 4–5 см призвело до зниження біологічної врожайності до 52,25–63,65 т/га та зменшення виходу цукру до 8,73–9,74 т/га. Це пояснюється повільнішим проростанням, слабшою дружністю сходів і гіршими умовами аерації у більш глибоких шарах ґрунту.

Отримані результати демонструють закономірний зв'язок між початковою дружністю сходів і подальшим розвитком рослин цукрових буряків. Варіанти з високою дружністю сходів у перші три дні після появи перших рослин (1–2 і 2–3 см) зберегли стабільну тенденцію до формування вирівняних за розмірами коренеплодів. Проте надмірно мілке загортання (1–2 см) призвело до дещо меншої маси коренеплодів унаслідок пересихання верхнього шару ґрунту впродовж вегетації (рис. 3).

Максимальна середня маса коренеплодів (понад 700 г на 10.09) зафіксована за глибин 2–3 і 3–4 см, що узгоджується з попереднім спостереженням про оптимальні умови для рівномірного розвитку рослин у цей діапазон. За глибини 4–5 см

відбулося різке зменшення як дружності сходів (до 60 %), так і середньої маси коренеплодів (≈550 г), що свідчить про уповільнення росту та нижчу ефективність фотосинтетичної діяльності посіву.

Отримані результати демонструють закономірний зв'язок між початковою дружністю сходів і подальшим розвитком рослин цукрових буряків. Отже, простежується пряма залежність між дружністю сходів на початку вегетації та продуктивністю рослин у пізніші фази розвитку. Найсприятливішими для формування високого врожаю та рівномірних коренеплодів виявилися умови посіву з глибиною 2–3 см.

Розрахунковий оптимум за цих умов становив 2,4 см, при якому прогнозована дружність досягала 88–90 %. Глибше загортання насіння на понад 3,5 см призводило до різкого зниження показника дружності на 25–35 %, що пояснюється погіршенням фізико-гідротермічного режиму у зоні розміщення насіння. Ці результати узгоджуються з даними Afshar et al [1] та Górski et al. [9], які відзначали негативний вплив глибокого сівби на швидкість проростання за традиційних систем обробітку ґрунту.



Рис. 2. Вплив глибини посіву на врожайність цукру цукрових буряків

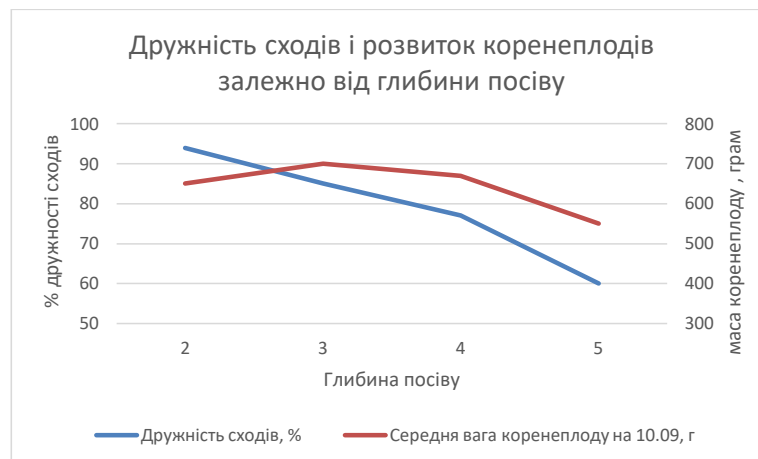


Рис. 3. Залежність дружності сходів та розвитку коренеплодів, від глибини посіву

Додатково встановлено, що збільшення глибини сівби супроводжувалося зростанням частки сходів, отриманих з перевищенням оптимального терміну: за 1–2 см вона становила 6 %, 2–3 см – 15 %, 3–4 см – 23 %, а за 4–5 см – уже 40 %. Затримка появи сходів на понад 72 години свідчила про зниження активності проростків, що зумовлює нерівномірність подальшого розвитку рослин, зокрема їхньої надземної частини й, відповідно, варіацію маси коренеплодів у період формування врожаю. Аналіз кореляції показав значущий позитивний зв'язок між відсотком пізніх сходів та відхиленням від заданої густоти ($r = 0.76$; $p < 0.05$), що вказує на взаємозалежність глибини сівби, фізичних умов посівного ложа й виживання проростків у ранній фазі.

З біологічної точки зору встановлено, що надто мілкий посів (менше 1,5 см) може бути ризикованим за дефіциту вологи через можливе пересихання насінневого ложа. Водночас, в умовах достатнього зволоження та помірної температури ґрунту, така глибина забезпечує максимальну швидкість і рівномірність проростання. Натомість надмірно глибоке загортання (4–5 см) призводить до зниження доступу кисню й підвищення механічного опору, що уповільнює вихід проростка на поверхню. За таких умов спостерігалось зниження показника дружності на 34 % порівняно з оптимальним варіантом.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що для умов Західного Лісостепу України за класичного комбінованого обробітку ґрунту та середньосуглинкової структури чорноземів оптимальною є глибина загортання насіння 2–3 см, яка забезпечує швидке проростання 85–90 % насіння в межах 72 годин, мінімальні втрати густоти та синхронність розвитку рослин. Збільшення глибини до 4 см і більше супроводжується подовженням фази появи сходів, зниженням їх дружності, а також підвищенням частки рослин із запізненням росту, що в подальшому зумовлює неоднорідність структури врожаю. Отримані результати підтверджують роль глибини сівби як одного з надчутливих технологічних параметрів, що здатний регулювати швидкість і рівномірність проростання насіння, а отже, формувати основу майбутньої врожайності цукрового буряка.

Отримані експериментальні дані підтверджують, що глибина сівби насіння є одним із ключових агротехнічних чинників, який визначає початкову динаміку росту та розвиток цукрового буряка (*Beta vulgaris* L.) через формування мікроклімату посівного ложа, фізичні умови проростання та швидкість появи сходів. Наші результати показали, що навіть незначне збільшення глибини загортання насіння понад 3 см призводить до зниження дружності сходів на 25–35 % та подовження терміну їх появи на 1–2 доби. Такий ефект узгоджується з численними дослідженнями, у яких глибину сівби розглядають як критичний параметр, що регулює баланс між вологою, температурою й аерацією у верхньому шарі ґрунту [4, 5, 12].

Зокрема, Licht і Al-Kaisi [13] вказують, що за системи strip-till посівне ложе має вищу температуру

та меншу щільність, що сприяє швидшому проростанню навіть за глибини понад 3 см. Проте у нашому дослідженні, проведеному в умовах класичного комбінованого обробітку, ефект виявився протилежним: ущільнений верхній шар після весняного боронування та прикочування обмежував дифузію кисню, тому проростки, загорнуті на 4–5 см, відставали у розвитку. Ця відмінність підтверджує висновки Afshar et al. [1], які відзначили, що система обробітку суттєво модифікує реакцію насіння на глибину загортання, зокрема через відмінності у вологості та тепловому режимі ґрунту.

Механізм впливу глибини посіву на швидкість сходів тісно пов'язаний із кількістю доступного кисню та температурним градієнтом у верхніх 5 см профілю. Як зазначають Blunk et al. [4], контакт «насіння–ґрунт» визначає інтенсивність водопоглинання та початковий метаболізм зародка. Наші спостереження показали, що за глибини 1–2 см уже на шосту добу після сівби з'являлося понад 20 % сходів, тоді як за 4–5 см лише близько 10 %. Це свідчить, що в умовах Бродівського полігону глибше розміщене насіння зазнавало дефіциту кисню та нестачі тепла для нормальної активації гормональних процесів подібно до ефектів, описаних Rimaz et al. [19], де автори встановили, що швидкість появи сходів знижується експоненційно зі зростанням глибини через подовження дифузійного шляху для газообміну.

Особливу увагу слід приділити зв'язку між якістю насіння і реакцією на глибину сівби. Mirzaei і Nemaui [15] підкреслюють, що біологічна якість насіння – енергія проростання, вміст резервних речовин, ступінь пошкодження під час калібрування – є ключовим чинником стабільності польової схожості. У нашому досліді використовували високоякісний насіннєвий матеріал моногермічного типу, проте навіть за цього умови відмінності у дружності сягали 34 % між крайніми варіантами. Це узгоджується з висновками Podlaski і Chomontowski [18], які довели, що глибина сівби не може компенсувати низьку енергію проростання, але при оптимальній якості насіння навіть незначна зміна умов середовища (зволоження, температура, аерація) визначає рівень дружності.

У більшості публікацій [5, 9, 14] наголошується, що оптимальна глибина сівби залежить від системи обробітку. В умовах мінімального або смугового обробітку посівне ложе краще прогрівається, тому глибина 2,5–3 см не знижує дружності. Проте за традиційної оранки й важкого механічного складу ґрунту, як у нашому досліді, навіть 3,5 см виявлялися критичними. Таким чином, результати підтверджують концепцію Licht і Al-Kaisi [13], згідно з якою глибина є функцією термічного режиму ложа: чим нижча температура верхнього шару, тим більший ризик втрати енергії проростання при збільшенні глибини.

Інші дослідження також демонструють, що швидкість появи сходів прямо корелює з фізичними властивостями посівного ложа. Afshar et al. [1] довели, що у варіантах з консерваційним обробітком, де спостерігається менше ущільнення, температура на

глибині 3 см була в середньому на 2–3 °C вищою, ніж за традиційного, що підвищувало польову схожість на 8–12 %. Подібні закономірності простежуються і в нашому експерименті: у верхньому шарі ґрунту (1–2 см) середня температура під час проростання була на 1,8 °C вищою, ніж на глибині 5 см, що зумовило прискорення появи сходів на 48 годин.

Результати узгоджуються також і з даними Lamichhane et al. [12], які на основі моделювання процесів появи сходів показали, що навіть незначне зниження температури на 2 °C може скоротити відсоток дружних сходів цукрового буряка на 10–15 %. У нашому дослідженні аналогічне відхилення температури між верхнім і нижчим шарами ґрунту забезпечувало різницю дружності у 17–20 %, що підтверджує чутливість культури до термічного режиму.

Зниження частки сходів у межах оптимального терміну за глибини понад 3 см, і відповідне збільшення пізніх сходів до 40 %, може мати кілька пояснень. По-перше, більша глибина збільшує довжину проростка, а отже, його потребу в енергетичних ресурсах, що затримує появу сім'ядоль на поверхні. По-друге, за глибшого загортання насіння розміщується у шарі з вищою щільністю і нижчим вмістом кисню, що обмежує дихання зародка. Ці явища раніше описані Licht & Al-Kaisi [13] та Esmaeili et al. [8], які зазначають, що недостатня аерація верхнього шару призводить до затримки проростання, подібної до впливу дефіциту вологи. Наші спостереження також виявили, що у варіанті 4–5 см частка сходів, які з'явилися після 9-го дня, сягала 23 %, що свідчить про явище часткового пригнічення проростків у щільнішому шарі.

Порівняння отриманих результатів із роботами Varga et al. [22] показує, що початкова рівномірність посіву має прямий вплив на подальшу структуру врожаю. За даними цих авторів, відхилення густоти більш як на 10 % знижує середню масу кореневого плоду на 8–12 %, а вміст сахарози – на 0,4–0,6 %. У нашому експерименті за глибини 2–3 см відхилення густоти становило 13 %, а при 1–2 см – лише 6 %, що вказує на високу потенційну перевагу мілкішої сівби для формування рівномірного врожаю.

У подальшому розвитку рослин такі початкові відмінності посилюються через асиміляційну конкуренцію. Named et al. [10] продемонстрували, що нерівномірні сходи цукрових буряків мають на 25–30 % нижчий індекс площі листової поверхні (LAI) у фазі BBCH 16, що прямо зменшує інтенсивність фотосинтезу та формування цукрів. У нашому досліді пізні сходи (9–10-й день) становили до 23 % у варіантах з глибиною понад 4 см, що ймовірно спричинило нижчий LAI у цих варіантах.

У цьому контексті варто розглянути результати Zhuzhzhlova et al. [24], які пов'язують морфогенетичну неоднорідність рослин у посівах цукрового буряка з різницею у часі проростання понад 48 год. Автори зазначають, що асинхронність сходів призводить до утворення рослин із відмінними фазами росту, які конкурують за світло і простір, що формує неоднорідну структуру врожаю. Це цілком узгоджується з нашими спостереженнями, де подовження

періоду сходів на понад 72 години зумовлювало зниження дружності та потенціалу врожайності.

Важливим аспектом є порівняння наших результатів із дослідженнями, що враховували кліматичні умови. Bastaubayeva et al. [3] показали, що кліматичні коливання – зокрема часті перепади вологості й температури в весняний період – значно змінюють оптимальні параметри сівби, включно з глибиною. У наших умовах 2025 року, коли перша декада квітня характеризувалася підвищеною вологістю, оптимальна глибина загортання насіння становила 2,4 см, тоді як у роки з посушливішою весною, за даними Varga et al. [22], оптимум зміщується до 3–3,5 см. Отже, вибір глибини повинен бути адаптивним до поточного гідротермічного режиму.

Ще одним фактором, який впливає на ефективність глибини, є попередник і система обробітку у короткоротаційних сівозмінах. У наших умовах попередником була озима пшениця, що залишає помірну кількість післяжнивних решток і не створює надмірного ущільнення. Проте в ротаціях із кукурудзою або соєю верхній шар часто є щільнішим і має гіршу водопроникність. Busari et al. [5] вказують, що у таких умовах доцільно зменшувати глибину посіву на 0,5–1 см, щоб насіння розміщувалося в зоні з кращим повітряним режимом. Це співзвучно нашим результатам, які підтверджують, що мілкіший висів забезпечує швидші сходи навіть за однакової вологості.

З огляду на це, отримані результати можна інтерпретувати як прояв універсальної закономірності: оптимальна глибина посіву – не фіксована величина, а функція агрофізичних умов, яка вимагає адаптації. Підтвердженням цьому є моделювання Anar et al. [2], де використання DSSAT для симуляції росту цукрового буряка показало, що зміщення глибини сівби на 1 см змінює час появи сходів на 1,5–2 дні. Наш експеримент дав практично аналогічний результат: різниця у 3 см між крайніми варіантами відповідала затримці проростання на 2–3 дні.

Особливу увагу слід звернути на енергетичну ефективність технології. За даними Saldukaitė et al. [21], оптимізація глибини загортання у поєднанні зі смуговим або прямим висівом дозволяє зменшити витрати палива на 12–18 % без зниження продуктивності. У нашому досліді, хоча оцінка енергетичних параметрів не проводилася безпосередньо, зменшення глибини до 2–2,5 см потенційно знижує енерговитрати під час створення посівного ложа та може бути рекомендоване для оптимізації технологічного процесу в класичній системі обробітку.

Підтвердження впливу глибини на якісні показники врожаю наведено в роботах Nowicki et al. [17] та Esmaeili et al. [9], які показали, що нерівномірні сходи знижують вміст сахарози на 0,6–0,9 %. У нашому досліді у варіантах із глибиною понад 4 см частка пізніх сходів становила 40 %, що ймовірно вплине на зниження кінцевої цукристості через асинхронність розвитку листової поверхні та різницю в ефективності фотосинтезу. Це підтверджує взаємозв'язок між ранніми морфологічними параметрами посіву та кінцевою якістю врожаю, описаний у Varga et al. [23].

Загалом, порівняння наших результатів із наведеними літературними даними дозволяє зробити висновок, що оптимальна глибина сівби для умов Західного Лісостепу України становить 2–3 см. За цієї глибини забезпечується найвищий баланс між польовою схожістю (понад 85 %), дружністю сходів (88–90 %) і рівномірністю розвитку рослин. Надмірне заглиблення (понад 4 см) суттєво знижує дружність, збільшує частку пізніх сходів до 40 % і потенційно погіршує структуру врожаю.

У більш широкому контексті результати підтверджують концепцію Stevanato et al. [22] щодо необхідності інтегрованого підходу до сталого вирощування цукрового буряка: технологічні параметри, зокрема глибина сівби, мають розглядатися не як ізольовані операції, а як елементи системи управління агрофізичними процесами в посівному ложі. Наш експеримент демонструє, що навіть у класичній системі обробітку глибина може бути адаптивним параметром, який частково компенсує вплив погодних умов і фізичних властивостей ґрунту.

Отже, результати експерименту поглиблюють розуміння механізмів регуляції дружності сходів і формування структури врожаю цукрового буряка. У поєднанні з висновками попередніх досліджень [9, 16, 22] вони підтверджують, що контроль глибини сівби є ефективним інструментом управління ранніми фазами органогенезу культури. Оптимізація цього параметра під конкретні умови поля дозволяє не лише підвищити рівномірність сходів і урожайність, а й зменшити енергетичні витрати на обробіток ґрунту, що відповідає принципам сучасного сталого землеробства.

Висновки. Проведені дослідження дозволили встановити закономірності впливу глибини сівби насіння цукрового буряка (*Beta vulgaris* L.) на швидкість проростання, дружність сходів та початкову рівномірність посіву в умовах класичної системи обробітку ґрунту. Отримані результати свідчать, що глибина загортання насіння є одним із найчутливіших параметрів агротехніки, який визначає синхронність розвитку культури на ранніх етапах онтогенезу та закладає потенціал структури майбутнього врожаю.

Виявлено, що при загортанні насіння на глибину 1–2 см спостерігається найвищий рівень енергії проростання і дружності сходів – 94 %, тоді як збільшення глибини до 4–5 см призводить до зниження цього показника до 60 %. У міру заглиблення посіву збільшувалася частка сходів, що з'являлися з перевищенням оптимального терміну понад 72 години – від 6 % за мілкої сівби до 40 % за глибокої. Цей ефект супроводжувався подовженням строків проростання та зростанням різниці у фазовому розвитку рослин, що знижувало рівномірність посіву. Таким чином, доведено, що навіть відхилення глибини на 1 см від оптимального рівня здатне змінювати тривалість проростання насіння на 1–1,5 доби.

Зі збільшенням глибини загортання понад 3 см спостерігалось істотне зниження енергії проростання: дружність сходів зменшувалася від 94 % (1–2 см) до 60 % (4–5 см), а кількість сходів, отриманих поза оптимальним періодом (>72 год), зростала від 6 до 40 %. Встановлено статистично значущий

негативний зв'язок між глибиною сівби та індексом дружності ($r = -0,89$; $p < 0.05$). Отримана квадратична модель $Y = -9,68x^2 + 59,13x + 36,25$ ($R^2 = 0,94$) дозволяє визначати оптимальну глибину для конкретних гідротермічних умов, що в нашому досліді склала 2,4 см.

Встановлено статистично достовірну залежність між глибиною сівби і показниками її рівномірності. Найменше відхилення від заданої густоти (6 %) спостерігалось у варіанті 1–2 см, тоді як за глибини 2–3 см цей показник становив 13 %. Згідно з розрахунками, оптимальна глибина сівби за умов досліді становила 2,4 см, де дружність сходів становила 88–90 %, втрати густоти були мінімальними. Це підтверджує, що оптимальна глибина має не фіксований, а адаптивний характер і залежить від фізичного стану посівного ложа та гідротермічного режиму ґрунту. Вперше для умов Західного Лісостепу України кількісно визначено вплив глибини сівби насіння цукрового буряка на показники дружності сходів і густоти стояння рослин із побудовою математичної моделі, яка дозволяє прогнозувати оптимальні параметри загортання залежно від агрометеорологічних умов. Визначено критичну межу глибини (3,5–4,0 см), перевищення якої призводить до різкого зниження частки дружних сходів та подовження періоду появи рослин. Доведено, що зменшення глибини сівби до 2–2,5 см не лише підвищує швидкість проростання, але й стабілізує рівномірність посіву, що безпосередньо впливає на формування однорідної структури врожаю.

Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що встановлена експериментальна залежність між глибиною сівби, швидкістю та дружністю сходів має не лише прикладне, але й теоретичне значення. Вона відображає фізіологічну реакцію насіння на поєднання факторів середовища – вологості, температури, щільності ґрунту – через позиційне розміщення у профілі. Виявлений оптимум 2,4 см можна розглядати як адаптивну величину для чорноземів Західного Лісостепу з помірною вологою навесні. У подальших дослідженнях цей параметр може бути використаний як базовий критерій для розробки математичних моделей, що описують початкову фазу розвитку культури. Наукова новизна одержаних результатів полягає у комплексному підході до вивчення глибини сівби як інтегрального показника взаємодії фізичних, біологічних і технологічних факторів, а практична цінність – у створенні можливості цілеспрямованого регулювання параметрів посіву для підвищення рівномірності сходів і стабільності врожайності. Отримані закономірності можуть бути покладені в основу сучасних систем точного землеробства, де глибина сівби контролюється автоматизовано на основі показників вологості, щільності та температури верхнього шару ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Afshar R. K., Nilahyane A., Chen C., He H., Stevens W. B., Iversen W. M. Impact of conservation tillage and nitrogen on sugarbeet yield and quality. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 191. P. 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.03.017>

2. Anar M. J., Lin Z., Hoogenboom G., Shelia V., Batchelor W. D., Teboh J. M., Khan M. Modeling growth, development and yield of sugarbeet using DSSAT. *Agricultural Systems*. 2019. Vol. 169. P. 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.11.010>
3. Bastaubayeva S. O., Tabyrbayeva L. K., Yezhebayaeva R. S., Konusbekov K., Abekova A. M., Bekbatyrov M. B. Climatic and agronomic impacts on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. 2022. Vol. 54(1). <https://doi.org/10.54910/sabao2022.54.1.13>
4. Blunk S., De Heer M. I., Sturrock C. J., Mooney S. J. Soil seedbed engineering and its impact on germination and establishment in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) as affected by seed–soil contact. *Seed Science Research*. 2018. Vol. 28(3). P. 236–244. <https://doi.org/10.1017/S0960258518000168>
5. Busari M. A., Kukal S. S., Kaur A., Bhatt R., Dulazi A. A. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*. 2015. Vol. 3(2). P. 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.022>
6. Chomontowski C., Wzorek H., Podlaski S. Impact of sugar beet seed priming on seed quality and performance under diversified environmental conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2020. Vol. 39. P. 183–189. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09973-2>
7. Curcic Z., Ciric M., Nagl N., Taski-Ajdukovic K. Effect of sugar beet genotype... *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. Article 1041. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01041>
8. Esmaeili R., Mohammadian R., Abad H. H. S., Mohammadi G. N. Improving quantity and quality... *Plant, Soil & Environment*. 2022. Vol. 68(8). <https://doi.org/10.17221/151/2022-PSE>
9. Górski D., Gaj R., Ulatowska A., Miziniak W. Effect of strip-till... *Agriculture*. 2022. Vol. 12(2). Article 166. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020166>
10. Hamed L. M. M., Absy R., Elmenofy W., Emara E. I. R. Enhancing sugar beet yield... *Agronomy*. 2023. Vol. 13(12). Article 2951. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122951>
11. Kaya M. D., Kulan E. G. Effective seed priming... *Sugar Tech*. 2020. Vol. 22. P. 1086–1091. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00848-5>
12. Lamichhane J. R., Constantin J., Aubertot J. N., Dürr C. Will climate change affect... *Field Crops Research*. 2019. Vol. 238. P. 64–73. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.04.022.
13. Licht M. A., Al-Kaisi M. M. Strip-tillage effect... *Soil & Tillage Research*. 2005. Vol. 80(1–2). P. 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.017>
14. Mioduszewska N., Adamski M., Osuch E., Osuch A. Sugar beets grown... *BIO Web of Conferences*. 2018. Vol. 10. Article 02020. <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20181002020>
15. Mirzaei M. R., Hemayati S. S. The effect of environment... *Agricultural Research*. 2022. Vol. 11. P. 608–614. <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00607-2>
16. Nowicki R., Wilczewski E., Klosowski M. The timing of sugar beet harvesting... *Agronomy*. 2025. Vol. 15(3). Article 704. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030704>
17. Paul S. K. Agronomic management of sugar beet. In: Misra V., Srivastava S., Mall A. K. (eds). *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing*. Singapore: Springer, 2022. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_13
18. Podlaski S., Chomontowski C. Various methods of assessing sugar beet seed vigour... *Sugar Tech*. 2020. Vol. 22. P. 130–136. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00754-5>
19. Rimaz H. R., Zand-Parsa S., Taghvaei M. Predicting the seedling emergence... *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 2020. Vol. 26. P. 2329–2338. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00884-1>
20. Saldukaitė L., Šarauskis E., Zabrodskiy A., Adamavičienė A., Buragienė S., Kriaučiūnienė Z., Savickas D. Assessment of energy saving... *Sustainable Energy Technologies*. 2022. Vol. 51. Article 101911. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101911>
21. Stevanato P., Chiodi C., Broccanello C. Sustainability of the sugar beet crop... *Sugar Tech*. 2019. Vol. 21. P. 703–716. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00734-9>
22. Varga I., Lončarić Z., Kristek S., Kulundžić A. M., Rebekić A., Antunović M. Sugar beet root yield... *Agriculture*. 2021. Vol. 11(5). Article 407. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050407>
23. Zhuzhzhhalova T. P., Nalbandyan A. A., Vasilchenko E. N., Cherkasova N. N. Morphogenetic peculiarities... *Vavilov Journal*. 2023. Vol. 27(3). P. 207. <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-27>

REFERENCES:

1. Afshar, R. K., Nilahyane, A., Chen, C., He, H., Stevens, W. B., & Iversen, W. M. (2019). Impact of conservation tillage and nitrogen on sugarbeet yield and quality. *Soil and Tillage Research*, 191, 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.03.017>
2. Anar, M. J., Lin, Z., Hoogenboom, G., Shelia, V., Batchelor, W. D., Teboh, J. M., ... & Khan, M. (2019). Modeling growth, development and yield of Sugarbeet using DSSAT. *Agricultural Systems*, 169, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.11.010>
3. Bastaubayeva, S. O., Tabyrbayeva, L. K., Yezhebayaeva, R. S., Konusbekov, K., Abekova, A. M., & Bekbatyrov, M. B. (2022). Climatic and agronomic impacts on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production. <http://doi.org/10.54910/sabao2022.54.1.13>
4. Blunk, S., De Heer, M. I., Sturrock, C. J., & Mooney, S. J. (2018). Soil seedbed engineering and its impact on germination and establishment in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) as affected by seed–soil contact. *Seed Science Research*, 28(3), 236–244. <https://doi.org/10.1017/S0960258518000168>
5. Busari, M. A., Kukal, S. S., Kaur, A., Bhatt, R., & Dulazi, A. A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International soil and water conservation research*, 3(2), 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.022>
6. Chomontowski, C., Wzorek, H. & Podlaski, S. Impact of sugar beet seed priming on seed quality and performance under diversified environmental conditions of germination, emergence and growth. *J Plant Growth Regul* 39, 183–189 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09973-2>
7. Curcic, Z., Ciric, M., Nagl, N., & Taski-Ajdukovic, K. (2018). Effect of sugar beet genotype, planting and harvesting dates and their interaction on

sugar yield. *Frontiers in plant science*, 9, 1041. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01041>

8. Esmaeili, R., Mohammadian, R., Abad, H. H. S., & Mohammadi, G. N. (2022). Improving quantity and quality of sugar beet yield using agronomic methods in summer cultivation. *Plant, Soil & Environment*, 68(8). <https://doi.org/10.17221/151/2022-PSE>

9. Górski, D., Gaj, R., Ulatowska, A., & Miziniak, W. (2022). Effect of Strip-Till and Variety on Yield and Quality of Sugar Beet against Conventional Tillage. *Agriculture*, 12(2), 166. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020166>

10. Hamed, L. M. M., Absy, R., Elmenofy, W., & Emara, E. I. R. (2023). Enhancing Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Yield and Quality: Evaluating the Efficiency of Chemical and Mechanical Weed Control Strategies. *Agronomy*, 13(12), 2951. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122951>

11. Kaya, M.D., Kulan, E.G. Effective Seed Priming Methods Improving Germination and Emergence of Sugar Beet Under Low-Temperature Stress. *Sugar Tech* 22, 1086–1091 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00848-5>

12. Lamichhane, J. R., Constantin, J., Aubertot, J. N., & Dürr, C. (2019). Will climate change affect sugar beet establishment of the 21st century? Insights from a simulation study using a crop emergence model. *Field Crops Research*, 238, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.022>

13. Licht, M. A., & Al-Kaisi, M. M. (2005). Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil & Tillage Research*, 80(1–2), 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.017>

14. Mioduszevska, N., Adamski, M., Osuch, E., & Osuch, A. (2018). Sugar beets grown in the strip-tillage system at different soil cultivation depths. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 10, p. 02020). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181002020>

15. Mirzaei, M.R., Hemayati, S.S. The Effect of Environment and Maternal Plant on Germination Traits of Sugar Beet Seeds and an Approach to Select the Superior Genotype. *Agric Res* 11, 608–614 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00607-2>

16. Nowicki, R., Wilczewski, E., & Kłosowski, M. (2025). The timing of sugar beet harvesting significantly influences roots yield and quality characteristics. *Agronomy*, 15(3), 704. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030704>

17. Paul, S.K. (2022). Agronomic Management of Sugar Beet. In: Misra, V., Srivastava, S., Mall, A.K. (eds) *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_13

18. Podlaski, S., Chomontowski, C. Various Methods of Assessing Sugar Beet Seed Vigour and Its Impact on the Germination Process, Field Emergence and Sugar Yield. *Sugar Tech* 22, 130–136 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00754-5>

19. Rimaz, H.R., Zand-Parsa, S., Taghvaei, M. et al. Predicting the seedling emergence time of sugar beet (*Beta vulgaris*) using beta models. *Physiol Mol Biol Plants* 26, 2329–2338 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00884-1>

20. Saldukaitė, L., Šarauskis, E., Zabrodskiy, A., Adamavičienė, A., Buragienė, S., Kriauciūnienė, Z., & Savickas, D. (2022). Assessment of energy saving and GHG reduction of winter oilseed rape production using sustainable strip tillage and direct sowing in three tillage technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 101911. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101911>

21. Stevanato, P., Chiodi, C., Broccanello, C. et al. Sustainability of the Sugar Beet Crop. *Sugar Tech* 21, 703–716 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00734-9>

22. Varga, I., Lončarić, Z., Kristek, S., Kulundžić, A. M., Rebekić, A., & Antunović, M. (2021). Sugar Beet Root Yield and Quality with Leaf Seasonal Dynamics in Relation to Planting Densities and Nitrogen Fertilization. *Agriculture*, 11(5), 407. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050407>

23. Zhuzhzhlova, T. P., Nalbandyan, A. A., Vasilchenko, E. N., & Cherkasova, N. N. (2023). Morphogenetic peculiarities of reproductive biology in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) breeding. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 27(3), 207. <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-27>

Кисельов Д.О., Блятник Т.С., Нінуа О.В., Каленська С.М. Агробіологічна оцінка впливу глибини посіву на дружність сходів і структуру врожаю цукрового буряка

Мета. Метою дослідження було кількісно оцінити вплив варіацій загортання насіння цукрового буряка на початковий розвиток рослин, параметри формування густоти стояння та продуктивність посівів у специфічних гідротермічних умовах опідзоленого середньосуглинкового чорнозему Західного Лісостепу. Особливу увагу приділено визначенню оптимальної глибини розміщення насіння, що забезпечує максимальну дружність сходів та мінімальну варіабельність маси коренеплідів. **Методи.** Дослідження виконано як однофакторний польовий експеримент на виробничо-дослідному полі ТОВ «Західний Буг». Фактором була глибина загортання насіння у чотирьох інтервалах: 1–2; 2–3; 3–4; 4–5 см. Протягом вегетації здійснювали облік польової схожості, тривалості періоду появи сходів, їх дружності та рівномірності розміщення у рядку; визначали масу коренеплідів, біологічну врожайність і вихід цукру. Статистичну обробку даних виконано методами дисперсійного аналізу (ANOVA), кореляційного та регресійного моделювання для кількісної верифікації отриманих залежностей. **Результати.** Встановлено, що навіть зміна глибини загортання в межах ± 1 см істотно змінює тривалість проростання та структуру появи сходів. За глибини 1–2 см дружність сходів досягала 94 %, тоді як при 4–5 см знижувалася до 60 %, супроводжуючись зростанням частки пізніх сходів до 40 %. Отримано високостовірну квадратичну залежність ($R^2 = 0,94$) між глибиною загортання та дружністю сходів, на основі якої визначено адаптивний оптимум – 2,4 см. У цьому діапазоні формувалися найменші втрати густоти стояння, найвища частка вирівняних за масою коренеплідів, біологічна врожайність 61,75–66,5 т/га та вихід цукру до 10,63 т/га. Поглиблення загортання супроводжувалося зростанням дисперсії маси коренеплідів і частки нетоварної фракції, що прямо впливало на економічні втрати. **Висновки.** Доведено, що оптимізація глибини

загортання є критичним регулятором формування однорідної густоти посіву та стабільної структури врожаю цукрового буряка. Побудована прогностична регресійна модель дозволяє адаптувати глибину загортання до фактичних гідрофізичних параметрів посівного шару (вологість, щільність, температура). Практичне значення дослідження полягає в обґрунтуванні можливостей застосування адаптивно-регульованої глибини загортання як елемента точного землеробства для підвищення ефективності використання ресурсів і зниження ризиків нерівномірності посівів.

Ключові слова: польова схожість; густина стояння рослин; динаміка наростання біомаси; цукристість коренеплідів.

Kyselov D.O., Blyatnyk T.S., Ninua O.V., Kalenska S.M. Agrobiological assessment of the effect of sowing depth on emergence uniformity and yield structure of sugar beet

Aim. The study aimed to quantify the effects of varying sugar beet seed placement depth on early plant development, stand establishment parameters, and productivity under the hydrothermal regime of a leached medium-loam chernozem. A special emphasis was placed on identifying the optimal sowing depth

ensuring maximum emergence synchrony and minimal root mass variability. **Methods.** A single-factor field experiment was conducted at the research–production field of “Zakhidnyi Buh”. Four depth intervals (1–2; 2–3; 3–4; 4–5 cm) served as the experimental factor. Field emergence, emergence timing, uniformity within the row, root mass, biological yield, and sugar output were assessed. Statistical analysis included ANOVA, correlation, and regression modelling. **Results.** Even a ± 1 cm deviation significantly affected emergence timing and synchrony. Emergence synchrony reached 94% at 1–2 cm but dropped to 60% at 4–5 cm, with late emergers increasing to 40%. A strong quadratic relationship ($R^2 = 0.94$) enabled defining an adaptive optimum of 2.4 cm. This range ensured minimal stand loss, the highest proportion of uniform roots, biological yield of 61.75–66.5 t/ha, and sugar output up to 10.63 t/ha. **Conclusions.** Optimizing seed placement depth is a critical factor in achieving uniform stands and stable yield structure. The developed predictive model enables depth adjustment according to soil hydrophysical conditions, offering a practical tool for precision agriculture.

Key words: field emergence; plant stand density; root yield structure; dynamics of biomass accumulation; root sugar content.

Дата першого надходження рукопису
до видання: 27.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису
після рецензування: 12.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025