

ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Новохацький М., канд. с.-г. наук, доцент,
e-mail: novokhatskyi@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3635-1761>
Степченко С., старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0003-2808-9644>
ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Мета роботи – висвітлити результати польових досліджень ефективності застосування різних систем основного обробітку ґрунту при вирощуванні сої в умовах Лісостепу України та визначили вплив агрометеорологічних умов періоду вегетації на рівень біологічної врожайності зерна.

Методи. Дослідження проводилися з використанням чотирьох систем основного обробітку ґрунту: традиційної (А1), консервувальної (А2), мульчувальної (А3) та міні-тіл (А4). Технологія вирощування сої була традиційною для зони проведення досліджень, за винятком досліджуваних факторів. Ефективність систем обробітку ґрунту встановлювалася шляхом визначення біологічної врожайності сої та її структури. Біологічна врожайність зерна визначалася за пробними снопами, відібраними в трикратній повторності для кожного варіанта. У процесі аналізу пробних снопів визначалися основні елементи структури врожайності. Статистична обробка даних проводилася методом кореляційного аналізу. Агрометеорологічні умови періоду вегетації сої оцінювалися за даними Білоцерківської метеостанції.

Результати. Серед досліджуваних систем основного обробітку ґрунту традиційна система з оранкою показала найвищий рівень біологічної врожайності зерна сої. Заміна обробітку ґрунту з оборотом пласта (оранка) та глибоке розпушування (консервувальна система) на поверхневий обробіток негативно впливала на біологічну врожайність. Середня біологічна врожайність зерна сої за роки досліджень становила 27,6 ц/га, варіюючись від мінімальних 18,2 ц/га (2018 р., міні-тіл) до максимальних 38,8 ц/га (2021 р., традиційна система). За період досліджень відмічено суттєве підвищення середньодобових температур у червні (+2,0 °С), липні (+1,1 °С) та серпні (+2,0 °С). Кореляційний аналіз засвідчив, що зміни середньодобових температур відображаються на рівнях біологічної врожайності сої, причому щільність зв'язку залежить від фази росту та використаної системи обробітку ґрунту. Також за останні десять років суттєво зменшилася кількість атмосферних опадів у літні місяці: червень – на 23,2 мм, липень – на 19,4 мм, серпень – на 34,4 мм.

Висновки. Біологічна врожайність зерна сої пов'язана з умовами року ($r = 0,418$) та системою основного обробітку ґрунту ($r = 0,404$): зменшення глибини обробітку та відмова від обороту пласта призводять до зменшення врожайності.

Зміни середньодобових температур впливають на біологічну врожайність сої. Підвищення температури у травні (сходи–початок гілкування) та серпні (налив зерна–достигання) негативно позначається на врожайності ($r = -0,370$ та $r = -0,303$ відповідно). Існує середній прямий зв'язок із середньодобовою температурою червня ($r = 0,343$) та слабкий прямий зв'язок із температурою липня ($r = 0,111$).

Кількість атмосферних опадів у травні–червні практично не впливає на врожайність. Соя позитивно реагує на опади в серпні, під час формування бобів і наливу зерна, особливо при традиційній системі обробітку ґрунту ($r = 0,473$).

Ключові слова: соя, біологічна врожайність, системи обробітку ґрунту, температура, опади.

Вступ. Інтенсифікація сільського господарства протягом останнього століття вважається одним із основних факторів покращення продовольчої безпеки; однак вона також сприяє зміні клімату [Fellmann et al., 2018; Markiewicz-Keszyska et al., 2025]. Збільшення частоти екстремальних погодних явищ має значні наслідки як для сільського господарства, так і для суспільства в цілому, включаючи зниження продуктивності агрофітоценозів [Sarkar et al., 2020].

Со́я є однією із найважливіших стратегічних сільськогосподарських культур сьогодення [Стоцька та ін., 2023]. Підвищений інтерес до вирощування сої пояснюється, головним чином, її здатністю формувати високоякісних рослинний білок та олію, що використовується багатьма галузями промисловості та сільським господарством [Houx, Wiebold, Fritsch, 2014; Gaweda et al., 2020].

Урожайність сої обмежують кліматичні фактори, особливо температура й кількість опадів [Piper, Boote, 1999; Samarah, Mullen, Cianzio, 2004; Penalba, Bettolli, Vargas, 2007; Avila, 2013]. Тому для реалізації потенціалу врожайності сої необхідна оптимальна дія факторів зовнішнього середовища протягом усього періоду вегетації рослин [Міхеєв, 2013].

Останнім часом посушливі умови вегетаційного періоду сої почали відмічатися майже кожен рік [Майданович, Сайдак, Книш, 2022; Білявська, Білявський, 2023]. Спостерігається зростання показників середньорічних температур, суми активних температур, суттєво змінюються показники суми опадів та їхнього розподілу протягом періоду вегетації сої.

Підготовка ґрунту є одним із найважливіших завдань у сільському господарстві, оскільки вона має важливе значення для росту та розвитку рослин. Для того, щоб рослини добре росли, необхідно забезпечити ґрунт достатньою кількістю повітря, води та поживних речовин. Традиційна система обробки ґрунту, що включає, в основному, оранку з оборотом пласта та додаткову обробку ґрунту, широ-

ко розповсюджена в Центральній Європі. Однак із екологічних та економічних міркувань все більше уваги приділяється альтернативним системам обробки ґрунту, які спрямовані на покращення здоров'я ґрунту та енергоефективності [Faligowska et al., 2025].

Це дослідження висуває гіпотезу, що різні методи основного обробки ґрунту, пов'язані з різною глибиною та оборотом пласта, значно впливають на врожайність насіння сої та механізми протидії глобальним змінам клімату.

Метою цієї роботи є висвітлення результатів польових досліджень щодо ефективності застосування різних систем основного обробки ґрунту при вирощуванні сої в умовах Лісостепу України та визначено вплив агрометеорологічних умов періоду вегетації на рівень біологічної врожайності зерна.

Методи і матеріали. Польові дослідження проведені у 2015–2024 рр. на угіддях УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, розміщених у Білоцерківському районі Київської області, що належать до Київського агроґрунтового району Правобережного Лісостепу. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий малогумусний. Дослідження тривали протягом двох ротаций п'ятипольної польової зернової сівозміни з таким чергуванням культур: горох – пшениця озима – со́я – ячмінь ярий – гречка.

Для вирощування сої використано традиційну для зони проведення досліджень технологію, за виключенням елементів, включених до схеми дослідів. Попередник – пшениця озима. Загальна площа ділянки становила 32,0 га, облікова площа – 29,8 га, повторність – триразова.

Дослідження проводилися за використання чотирьох систем основного обробки ґрунту, класифікованих за їхніми характерними особливостями [Новохацький та ін., 2017]:

– *традиційна система* передбачає провакацію проростання насіння бур'янів і падалиці, руйнування капілярів і підризування бур'янів (дискування після збирання попередника), розпушування ґрунту з

обертанням скиби (оранка) на глибину від 20-22 до 30-32 см і повне загортання рослинних решток на глибину від 6-8 до 12-14 см;

– *консервувальна система* включає в себе мульчування ґрунту подрібненими рослинними рештками з їхнім збереженням (до 50%) на поверхні ґрунту на період сівби, обробіток верхнього шару з перемішуванням рослинних решток (дискування після збирання попередника), глибокий безполицевий основний обробіток (чизельне розпушування) на глибину від 25-27 до 38-40 см і повне підрізання бур'янів;

– *мульчувальна система* базується на мульчуванні ґрунту подрібненими рослинними рештками з їхнім збереженням (не менше 30%) на поверхні ґрунту в період сівби, обробіток верхнього шару ґрунту дисковими знаряддями на глибину 10-12 см з перемішуванням рослинних решток і повне підрізання бур'янів;

– *система міні-тіл* полягає в мульчуванні ґрунту подрібненими рослинними рештками з їхнім максимальним збереженням на поверхні ґрунту на період сівби і поверхневому обробітку ґрунту на глибину загортання насіння.

Ефективність застосування системи основного обробітку ґрунту встановлювалася шляхом визначення біологічної врожайності сої та її структури порівняно з контрольним варіантом дослідження (традиційна система). Біологічна врожайність зерна визначалася за пробними снопами, відібраними на кожному з варіантів у трикратній повторності [Грицаєнко та ін., 2003]. У процесі аналізу пробних снопів визначено основні елементи структури врожайності за кожним варіантом. Статистичну обробку даних проведено методом кореляційного аналізу [Доспехов, 1985].

Агрометеорологічні умови періоду вегетації сої в роки проведення досліджень оцінювалися за даним Білоцерківської метеостанції.

Результати досліджень. Середня біологічна врожайність зерна сої за роки проведення наших досліджень становила 27,6 ц/га, при цьому рівень біологічної

врожайності сої суттєво різнився за варіантами застосування системи обробітку ґрунту та роками проведення досліджень: мінімальний рівень врожайності зерна сої за дві ротації сівозміни – 18,2 ц/га – відмічено у 2018 р. за використання системи міні-тіл, максимальний (38,8 ц/га) – у 2021 р. за використання традиційної системи основного обробітку ґрунту (табл. 1).

За результатами кореляційного аналізу нами виявлено, що на рівень біологічної врожайності зерна доволі суттєвий вплив чинять досліджувані нами фактори. Так, біологічна врожайність пов'язана середньою прямою кореляційною залежністю з умовами року, що виражається коефіцієнтом $r = 0,418$. Аналогічна середня кореляційна залежність, виражена коефіцієнтом $r = 0,404$, нами встановлена між рівнем біологічної врожайності зерна і системою основного обробітку ґрунту: зменшення глибини обробітку ґрунту та відмова від обороту пласта спричиняли зменшення величини біологічної врожайності зерна, що формували фітоценози сої.

Біологічна врожайність зерна сої, як свідчать результати наших досліджень, значно варіюється за роками та залежить від системи обробітку ґрунту (рис. 1).

Спостереження протягом двох ротацій п'ятипільної сівозміни вказують на існування тенденції росту рівня біологічної врожайності зерна сої за використання всіх досліджуваних нами систем основного обробітку ґрунту, що графічно відображено лініями тренду (рис. 1). З огляду на обмежену кількість факторів досліджень варто зазначити, що ріст біологічної врожайності зумовлюють не лише система обробітку ґрунту, а й інші фактори, що не входили до схеми дослідів (сортівий склад, система захисту рослин, застосування рістрегулюючих та антистресових препаратів тощо).

Протягом періоду досліджень нами відмічено суттєві зміни величини основних агрометеорологічних факторів: порівняно з попереднім багаторічним періодом, на 100,2 мм зменшилася середньобагаторічна сума опадів, на 86,2 мм зменшилася

Таблиця 1 - Біологічна врожайність сої та агрометеорологічні умови за роками досліджень

Рік проведення дослідів	Біологічна врожайність, ц/га					Агрометеорологічні умови			
	Система основного обробітку ґрунту				Середнє по ва-ріанту обробітку ґрунту	Опади, мм		Сума активних температур ($\Sigma t > 10\text{ }^\circ\text{C}$)	ГТК
	традиційна	консерву-вальна	мульчувальна	міні-тіл		за рік	за вегетацію (V-IX місяці)		
2015	27,0	25,7	23,7	19,3	23,9	392,4	155,6	3051,6	0,52
2016	29,4	27,7	25,7	22,2	26,3	836,4	408,4	3288,8	1,52
2017	28,4	27,9	24,4	23,0	25,9	568,1	236,2	3205,9	0,91
2018	26,0	21,6	23,2	18,2	22,3	496,7	261,0	3415,1	0,76
2019	35,6	30,5	27,0	33,7	31,7	355,3	254,9	3245,3	0,85
2020	26,7	28,0	26,0	21,6	25,6	502,7	238,2	3073,0	0,99
2021	38,8	24,6	28,9	35,7	32,0	425,1	241,7	2892,4	0,86
2022	34,4	33,8	27,8	32,6	32,2	554,0	289,4	3049,9	1,05
2023	30,2	29,2	23,4	28,1	27,7	601,1	249,4	3187,9	0,82
2024	31,4	29,4	28,5	26,2	28,9	598,4	210,8	3399,5	0,79
Середнє за 2015-2024 рр. (А)	30,8	27,8	25,9	26,1	27,6	533,0	254,6	3180,9	0,91
Середні багаторічні для Київської області (1975-2014 рр.) (Б)						633,2	340,8	2887,8	1,29
Різниця (А-Б)						-100,2	-86,2	293,1	-0,38
Коефіцієнти парної кореляції									
Сис-тема обро-бітку ґрунту	традиційна					-0,253	0,098	-0,431	0,079
	консервувальна					0,165	0,166	-0,105	0,283
	мульчувальна					-0,071	0,098	-0,288	0,223
	міні-тіл					-0,265	0,067	-0,438	0,057
	середнє					-0,167	0,115	-0,397	0,152

сума опадів за період вегетації сої, на 293,1 °С зростає сума активних температур, що призвело до зменшення з 1,29 (середнє за 1975-2014 рр.) до 0,91 (середнє за 2015-2024 рр.) гідротермічного коефіцієнта Селянінова (табл. 1).

Протягом 2015-2024 рр. спостерігається зростання середньодобових температур періоду вегетації сої, на що вказують абсолютні показники та лінія тренду (рис. 2).

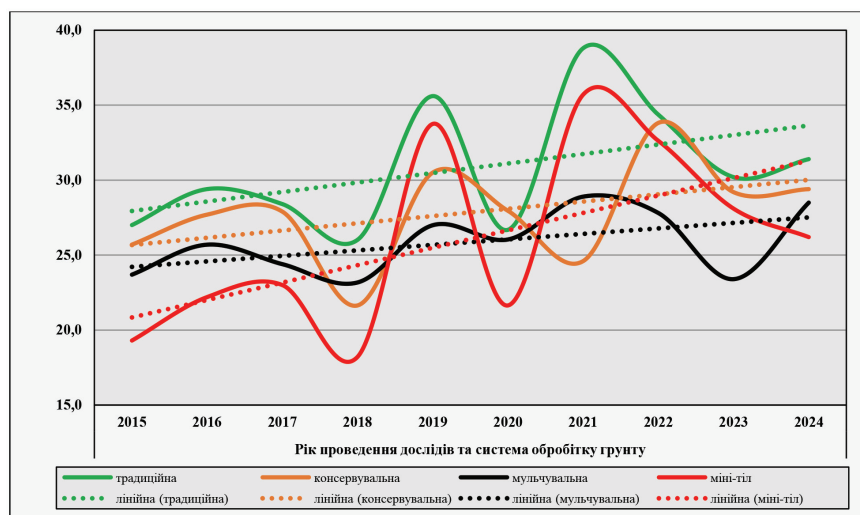


Рисунок 1 – Урожайність зерна сої залежно від системи основного обробітку ґрунту та агрометеорологічних умов періоду вегетації

За дві ротації сівозміни – протягом періоду досліджень – нами відмічено незначне підвищення середньодобової температури травня і суттєве підвищення середньодобових температур усіх літніх місяців: температура червня зросла на $2,0^{\circ}\text{C}$, липня – на $1,1$, серпня – на $2,0^{\circ}\text{C}$.

Результати кореляційного аналізу засвідчують, що зміни середньодобових температур відображаються на рівнях біологічної врожайності зерна сої. Щільність зв'язку залежить від фази росту та розвитку сої і використаної в технології вирощування системи основного обробітку ґрунту (табл. 2).

Підвищення температури в травні (фаза сходів – початку гілкування) та серпня (фаза наливання зерна – досягання) негативно відображається на величині біологічної врожайності зерна сої, про що свідчать коефіцієнти кореляції $r = -0,370$ та $r = -0,303$. Нами виявлено середній прямий ($r = 0,343$) кореляційний зв'язок між величиною біологічної врожайності і середньодобовою температурою повітря червня та слабкий прямий ($r = 0,111$) кореляційний зв'язок між біологічною врожайністю зерна сої і середньодобовою температурою повітря липня.

За останні десять років суттєво змінилася кількість атмосферних опадів та їхній розподіл, особливо в літні місяці (табл. 1, табл. 3), на що вказує лінія тренду та порівняння з фактичними даним попередніх тридцяти років спостережень: середня сума опадів за червень зменшилася на $23,2$ мм, за липень – на $19,4$ мм, за серпень – на $34,4$ мм; лише в третій декаді липня сума

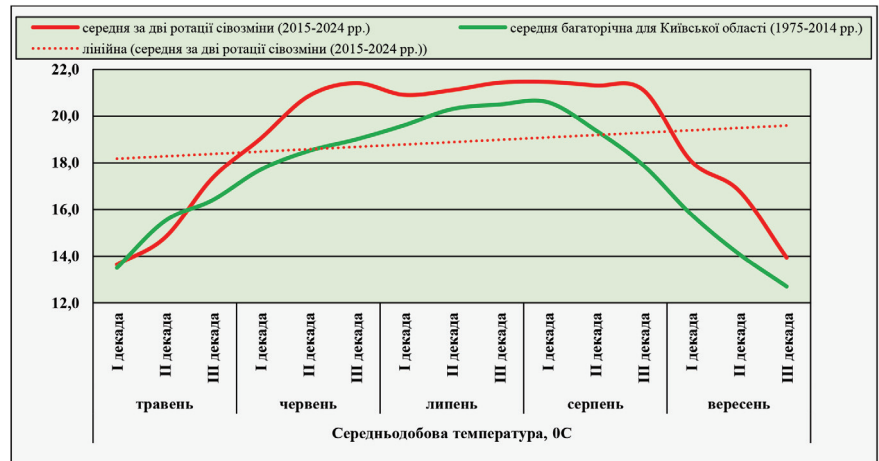


Рисунок 2– Зміна середньодобових температур повітря за період досліджень порівняно із середньобагаторічними

опадів за останні десять років перевищувала середньобагаторічну суму (рис. 3).

За даними кореляційного аналізу, кількість атмосферних опадів у період вегетативного розвитку сої (травень – червень) практично не пливає на величину біологічної врожайності зерна (табл. 3).

У середньому величина біологічної врожайності та сума атмосферних опадів травня пов'язані коефіцієнтом кореляції $r = 0,083$ з коливанням від $-0,098$ (за консервувальної системи обробітку ґрунту) до $0,285$ (за мульчувальної системи). Значна кількість опадів у липні негативно впливає на рівень продуктивності агрофітоценозів сої: між величиною біологічної врожайності зерна і кількістю опадів протягом цього місяця середній коефіцієнт

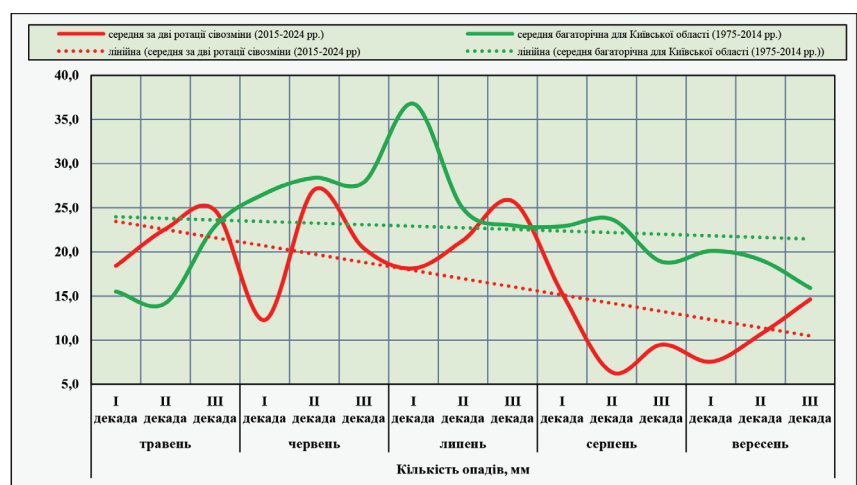


Рисунок 3– Динаміка кількості атмосферних опадів за період досліджень порівняно із середньобагаторічними даними

Таблиця 2 – Біологічна врожайність зерна та динаміка середньодобових температур повітря протягом вегетації сої за роками досліджень

Рік проведення дослід-днів	Середньодобова температура, °С																								
	Біологічна врожайність, ц/га				травень				червень				липень				серпень				вересень				
	Система основного обробку ґрунту				Середня				I декада				II декада				III декада				за місяць				
2015	27,0	25,7	23,7	19,3	23,9	13,4	15,0	20,2	16,3	20,6	19,8	18,4	19,6	21,8	19,1	22,0	21,0	21,7	19,7	20,4	20,6	18,5	18,7	16,6	17,9
2016	29,4	27,7	25,7	22,2	26,3	13,8	12,4	16,8	14,4	15,3	19,4	23,5	19,4	19,3	22,6	21,6	21,2	21,5	18,4	21,4	20,5	19,8	15,4	11,5	15,6
2017	28,4	27,9	24,4	23,0	25,9	13,5	12,7	18,3	14,9	18,8	18,8	21,6	19,7	19,0	20,1	21,9	20,4	24,8	25,6	17,3	22,4	16,3	18,2	13,9	16,1
2018	26,0	21,6	23,2	18,2	22,3	21,1	15,8	19,7	18,9	19,3	22,9	19,8	20,7	19,4	22,1	21,8	21,1	22,9	23,0	22,6	22,8	20,1	18,4	12,2	16,9
2019	35,6	30,5	27,0	33,7	31,7	12,1	18,2	19,3	16,6	21,2	23,7	21,5	22,1	19,0	17,2	21,6	19,3	18,6	21,1	20,4	20,0	20,2	15,2	11,4	15,6
2020	26,7	28,0	26,0	21,6	25,6	12,8	13,4	11,8	12,6	18,6	23,4	21,9	21,3	21,3	19,8	20,5	20,5	20,2	18,7	20,7	19,9	20,1	16,4	15,2	17,2
2021	38,8	24,6	28,9	35,7	32,0	11,8	14,5	15,4	13,9	16,1	20,1	23,6	19,9	22,7	24,3	22,1	23,0	21,3	20,4	17,9	19,8	13,4	15,3	9,2	12,6
2022	34,4	33,8	27,8	32,6	32,2	12,3	14,5	15,6	14,2	20,5	20,7	21,7	20,9	22,0	18,0	21,6	20,6	20,6	21,7	22,7	21,7	13,4	13,1	11,9	12,8
2023	30,2	29,2	23,4	28,1	27,7	11,3	16,5	18,1	15,4	18,6	19,6	20,5	19,6	21,9	21,4	20,0	21,1	22,0	22,6	23,8	22,8	17,8	17,8	18,8	18,1
2024	31,4	29,4	28,5	26,2	28,9	14,3	14,9	18,3	15,9	21,3	20,1	21,6	21,0	22,7	26,5	21,2	23,4	21,0	21,9	24,0	22,4	21,2	19,6	18,7	19,8
А. Середня за 2015-2024 рр.	30,8	27,8	25,9	26,1	27,6	13,6	14,8	17,4	15,3	19,0	20,9	21,4	20,4	20,9	21,1	21,4	21,2	21,5	21,3	21,1	21,3	18,1	16,8	13,9	16,3
Б. Середня багаторічне для Київської області (1975-2014 рр.)	13,5	15,5	16,4	15,2	17,7	18,5	19,0	18,4	19,6	19,6	20,3	20,5	20,1	20,6	20,6	19,4	17,9	20,6	19,4	17,9	19,3	15,8	14,1	12,7	14,2
Різниця (А-Б)	0,1	-0,7	1,0	0,1	1,3	2,4	2,4	2,0	2,0	1,3	0,8	0,9	1,1	0,9	0,9	1,9	3,2	2,0	2,3	2,0	2,3	2,7	1,2	2,1	2,1
Коефіцієнти парної кореляції																									
Сигнальна основа обробку ґрунту	-0,528	0,305	-0,135	-0,244	-0,075	-0,028	0,558	0,224	0,313	0,067	0,231	0,227	-0,467	-0,058	-0,199	-0,362	-0,549	-0,485	-0,642						
консервувальна	-0,645	0,078	-0,231	-0,422	0,365	-0,071	0,215	0,331	0,158	-0,379	-0,323	-0,281	-0,437	0,011	0,266	-0,006	-0,190	-0,480	0,162	-0,144					
мультисубвальна	-0,407	-0,043	-0,434	-0,450	0,005	0,064	0,674	0,411	0,432	0,278	0,180	0,425	-0,550	-0,268	-0,079	-0,426	-0,286	-0,480	-0,332	-0,424					
міні-тіл	-0,616	0,379	-0,194	-0,294	0,016	0,026	0,501	0,295	0,323	-0,058	0,031	0,097	-0,497	0,018	-0,115	-0,281	-0,555	-0,620	-0,371	-0,598					
середнє	-0,654	0,275	-0,250	-0,376	0,073	-0,004	0,550	0,343	0,344	-0,054	0,035	0,111	-0,554	-0,048	-0,061	-0,303	-0,505	-0,647	-0,326	-0,563					

Таблиця 3 – Біологічна врожайність зерна та динаміка атмосферних опадів протягом вегетації сої за роками досліджень

Рік проведення дослідів	Біологічна врожайність, ц/га				Середньодобова температура, °С																				
	Система основного обробітку ґрунту				травень			червень			липень			серпень			вересень								
	традиційна	консервувальна	мульчувальна	міні-тіл	І декада	II декада	III декада	за місяць	І декада	II декада	III декада	за місяць	І декада	II декада	III декада	за місяць	І декада	II декада	III декада	за місяць					
2015	27,0	25,7	23,7	19,3	23,9	27,5	9,1	1,2	37,8	0,0	17,0	8,3	25,3	0,7	22,0	47,0	69,7	0,8	1,6	0,0	2,4	17,5	0,0	2,9	20,4
2016	29,4	27,7	25,7	22,2	26,3	45,2	66,7	57,8	169,7	22,7	50,1	32,2	105,0	30,7	28,9	20,5	80,1	13,9	22,8	7,3	44,0	0,0	0,0	9,6	9,6
2017	28,4	27,9	24,4	23,0	25,9	14,5	9,8	16,1	40,5	10,2	14,3	17,9	42,4	5,5	9,7	40,9	56,1	16,8	0,0	27,2	44,0	3,4	2,1	28,7	53,2
2018	26,0	21,6	23,2	18,2	22,3	11,4	25,5	0,0	36,9	0,0	29,8	17,2	47,0	18,4	25,4	46,8	90,6	2,8	14,7	10,8	28,3	24,6	14,7	18,9	58,2
2019	35,6	30,5	27,0	33,7	31,7	27,4	38,6	24,6	90,6	29,3	0,0	32,6	61,9	7,8	10,5	33,1	51,4	16,9	0,0	0,0	16,9	0,0	7,8	26,3	34,1
2020	26,7	28,0	26,0	21,6	25,6	32,3	21,5	52,0	105,8	10,4	24,2	19,6	54,3	15,5	4,6	12,9	33,0	5,3	0,2	13,4	19,0	2,0	1,4	22,8	26,2
2021	38,8	24,6	28,9	35,7	32,0	25,0	26,0	49,0	100,0	5,9	22,0	0,7	28,6	11,0	30,0	4,9	45,9	20,0	7,7	28,0	55,7	0,0	1,5	10,0	11,5
2022	34,4	33,8	27,8	32,6	32,2	0,4	5,4	26,7	32,4	4,6	8,7	28,2	41,6	22,2	23,5	2,3	48,0	55,1	16,5	1,9	73,4	24,0	43,5	26,4	93,9
2023	30,2	29,2	23,4	28,1	27,7	0,2	2,2	10,5	13,0	21,7	8,8	34,3	64,7	68,2	40,6	42,6	151,3	6,0	0,0	5,9	11,9	3,8	4,7	0,1	8,6
2024	31,4	29,4	28,5	26,2	28,9	0,2	21,1	9,1	30,4	18,0	95,5	12,9	126,4	1,2	17,9	6,6	25,9	15,2	0,1	0,3	15,6	0,2	11,8	0,5	12,5
А. Середня за 2015-2024 рр.	30,8	27,8	25,9	26,1	27,6	18,4	22,6	24,7	65,7	12,3	27,0	20,4	59,7	18,1	21,3	25,8	65,2	15,3	6,4	9,5	31,1	7,6	10,7	14,6	32,8
Б. Середня багаторічна для Київської області (1975-2014 рр.)	15,5	14,2	22,9	52,6	52,6	26,6	28,4	27,9	82,9	36,8	24,9	23,0	84,7	22,9	23,7	18,9	65,5	20,1	19,1	15,9	15,9	19,1	19,1	15,9	55,1
Рівниця (А-Б)	2,9	8,4	1,8	13,1	-14,3	-1,4	-7,5	-23,2	-18,7	-3,6	2,8	-19,5	-7,6	-17,3	-9,4	-34,4	-12,6	-8,5	-1,3	-22,3					
Коефіцієнти парної кореляції																									
Система основного обробітку ґрунту	Традиційна	-0,092	0,089	0,330	0,149	0,270	-0,140	-0,069	-0,059	-0,057	0,181	-0,564	-0,261	0,585	0,037	0,114	0,473	-0,296	0,161	0,058	-0,007				
	консервувальна	-0,293	-0,170	0,141	-0,098	0,466	-0,100	0,570	0,259	0,157	-0,163	-0,429	-0,178	0,689	-0,093	-0,425	0,239	-0,132	0,518	0,222	0,293				
	мульчувальна	-0,017	0,201	0,486	0,285	0,190	0,322	-0,222	0,258	-0,364	-0,180	-0,904	-0,709	0,592	0,055	0,036	0,448	-0,356	0,182	0,074	-0,013				
	міні-тіл	-0,212	-0,053	0,288	0,038	0,338	-0,254	0,086	-0,081	0,085	0,159	-0,531	-0,173	0,621	-0,069	0,064	0,433	-0,289	0,242	0,121	0,060				
ґрунту	середнє	-0,195	-0,006	0,338	0,083	0,374	-0,131	0,120	0,047	0,002	0,060	-0,651	-0,309	0,713	-0,033	-0,033	0,464	-0,306	0,310	0,136	0,093				

кореляції становить $r = -0,309$ з коливаннями величини коефіцієнта кореляції залежно від системи обробітку ґрунту від $-0,173$ (міні-тіл) до $-0,709$ (мульчувальна система).

Соя позитивно реагує на опади в серпні, коли триває генеративна фаза розвитку, тобто йде формування бобів і наливання зерна. Найбільше реагує соя на опади в цей період за вирощування з використанням традиційної системи обробітку ґрунту, що підтверджує коефіцієнт кореляції $r = 0,473$ за середнього коефіцієнта $r = 0,464$.

Обговорення. Світовий попит на сою останніми роками стабільно підвищується. У відповідь на цей попит її виробництво зростає в усьому світі завдяки поєднанню збільшення площ виробництва і більшої врожайності. Зміна клімату в Центральній Європі та підвищення температури створюють можливості для впровадження та поширення сої в нетрадиційних районах її вирощування [Jongman et al., 2006; Sobko et al., 2020]. Водночас зростаючий попит на сталі виробництво в умовах зміни клімату та дефіциту ресурсів підкреслює необхідність оптимізації та впровадження агротехнічних прийомів, які підвищують продуктивність без шкоди для навколишнього середовища [Tilman, 2011]. Врожайність сої залежить від фізичних властивостей і здатності ґрунту зберігати воду [da Silva et al., 2022]. Методи основного обробітку ґрунту суттєво впливають на продуктивність сої та інших сільськогосподарських культур, формуючи структуру ґрунту, впливаючи на динаміку елементів живлення та доступної вологи, що безпосередньо позначається на рівні врожайності.

За даними польських учених, використання традиційної системи обробітку ґрунту значно підвищує врожайність зерна сої порівняно з вирощуванням без обробітку ґрунту (ноу-тіл) [Buczek et al., 2022], особливо в роки з високими температурами протягом вегетаційного періоду та середньою кількістю опадів у період дозрівання насіння [Gaweda et al., 2020].

На виробництво сої впливає родючість ґрунту та вміст води в ґрунті, що залежить від системи обробітку ґрунту [Acharya et al., 2019]. Врожайність сої щільно корелює з ґрунтовою вологою і, відповідно, кількістю опадів [da Silva et al., 2022].

Результати наших досліджень підкреслюють значний вплив методів основного обробітку ґрунту на продуктивність сої в умовах кліматичних змін. Отримані результати свідчать про те, що обробіток ґрунту відіграє вагомий роль у виробництві зерна сої, забезпечуючи оптимальний баланс між урожайністю та стресовими кліматичними факторами.

Висновки. За результатами наших досліджень встановлено вплив агрометеорологічних умов вегетації та системи основного обробітку ґрунту на продуктивність агрофітоценозів сої:

1. Біологічна врожайність зерна сої пов'язана середньою прямою кореляційною залежністю з умовами року, що виражається коефіцієнтом $r = 0,418$. Середню кореляційну залежність, виражену коефіцієнтом $r = 0,404$, встановлено між рівнем біологічної врожайності зерна і системою основного обробітку ґрунту: зменшення глибини обробітку ґрунту та відмова від обороту пласта спричиняють зменшення величини біологічної врожайності зерна, що формували фітоценози сої.

2. Зміни середньодобових температур відображаються на рівнях біологічної врожайності зерна сої. Щільність зв'язку залежить від фази росту та розвитку сої і використаної в технології вирощування системи основного обробітку ґрунту. Підвищення температури в травні (фаза сходів – початку гілкування) та серпні (фаза наливання зерна – досягання) негативно відображається на величині біологічної врожайності зерна сої, про що свідчать коефіцієнти кореляції $r = -0,370$ та $r = -0,303$. Середній прямий ($r = 0,343$) кореляційний зв'язок існує між величиною біологічної врожайності і середньодобовою температурою повітря червня та слабкий прямий ($r = 0,111$) кореляційний зв'язок між біологічною врожайністю зер-

на сої і середньодобовою температурою повітря липня.

3. За даними кореляційного аналізу, кількість атмосферних опадів у період вегетативного розвитку сої (травень – червень) практично не пливає на величину біологічної врожайності зерна. Соя позитивно реагує на опади в серпні, коли триває генеративна фаза розвитку, тобто йде формування бобів і наливання зерна. Найбільше реагує соя на опади в цей період за вирощування з використанням традиційної системи обробітку ґрунту, що підтверджує коефіцієнт кореляції $r = 0,473$ за середнього коефіцієнта $r = 0,464$.

Перелік посилань

- Білявська, Л. Г., Білявський. Ю. В. Селекція на адаптивність сучасних сортів сої до посухи / Урожайність та якість продукції рослинництва за сучасних технологій вирощування, присвячена 90-річчю з дня народження професора Г.П. Жемели: матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Полтава, 30 вересня 2023 р.). Полтава: ПДАУ, 2023. С. 165-167.
- Грицаєнко, З. М., Грицаєнко, А. О., Карпенко, В. П. (2003). Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: «Нічлава», 316 с.
- Доспехов, Б. А. (1985). Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, допол. и перераб. – М: Агропромиздат. 351 с.
- Майданович, Н., Сайдак, Р., Книш, В. (2022). Порівняльний аналіз частоти посушливих явищ на півдні України за показниками SPI ТА ГТК. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип. 31 (45). – С. 137-144.
- Міхеєв, В. Г. (2013). Урожайність сортів сої різних груп стиглості залежно від погодних умов року та різних норм висіву в східній частині Лісостепу України. Вісник ЦНЗ АПВ Харківської обл. Вип. 14. – С. 95-100.
- Новохацький, М., Негуляєва, Н., Бондаренко, О., Гусар, І. (2017). Експертиза систем різноглибинного основного обробітку ґрунту під час вирощування зернових культур. Техніка і технології АПК, (2), С.33-37.
- Стоцька, С. В., Коткова, Т. М., Клименко, Т. В., Панчишин, В. З. (2023). Формування продуктивності нових сортів сої в умовах Лісостепу. Таврійський науковий вісник. Вип. № 129. С. 132-138.
- Acharya, B. S., Dodla, S., Gaston, L. A., Darapuneni, M., Wang, J. J., Sepat, S., & Bohara, H. (2019). Winter cover crops effect on soil moisture and soybean growth and yield under different tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 195, 104430.
- Avila, A. M. H., Farias, J. R. B., Pinto, H. S., & Pilau, F. G. (2013). Climatic restrictions for maximizing soybean yields. In J. E. Board (Ed.), *A comprehensive survey of international soybean research-genetics, physiology, agronomy and nitrogen relationships* (pp. 367–375). In Tech.
- Buczek, J., Bobrecka-Jamro, D., & Jańczak-Pieniążek, M. (2022). Photosynthesis, Yield and Quality of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under Different Soil-Tillage Systems. *Sustainability*, 14(9), 4903. <https://doi.org/10.3390/su14094903>
- da Silva, G. F., Calonego, J. C., Luperini, B. C. O., Chamma, L., Alves, E. R., Rodrigues, S. A., Putti, F. F., da Silva, V. M., & de Almeida Silva, M. (2022). Soil-Plant Relationships in Soybean Cultivated under Conventional Tillage and Long-Term No-Tillage. *Agronomy*, 12(3), 697. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030697>
- Faligowska, A., Panasiewicz, K., Szymańska, G., & Ratajczak, K. (2025). Optimizing Soybean Productivity: A Comparative Analysis of Tillage and Sowing Methods and Their Effects on Yield and Quality. *Agriculture*, 15(6), 626. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060626>
- Fellmann, T., Witzke, P., Weiss, F., Van Doorslaer, B., Drabik, D., Huck, I., Salputra, G., & Jansson, T. (2018). Major chal-

lenges of integrating agriculture into climate change mitigation policy frameworks. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23, 451-468.

Gawęda, D., Nowak, A., Haliniarz, M., & Woźniak, A. (2020). Yield and economic effectiveness of soybean grown under different cropping systems. *International Journal of Plant Production*, 14, 475-485.

Houx, J. H., Wiebold, W. J., & Fritschi, F. B. (2014). Rotation and tillage affect soybean grain composition, yield, and nutrient removal. *Field Crop Science*, 64, 12-21.

Jongman, R. H. G., Bunce, R. G. H., Metzger, M. J., Мьcher, C. A., Howard, D. C., & Mateus, V. L. (2006). Objectives and applications of a statistical environmental stratification of Europe. *Landscape Ecology*, 21, 409-419.

Markiewicz-Keszycka, M., Macken-Walsh, B., Carter, A., Mooney, S., Devereux, E. J., Henchion, M., & Hynds, P. (2025). Farmers' Experiences of Transitioning Towards Agroecology: Narratives of Change in Western Europe. *Agriculture*, 15(6), 625. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060625>

Penalba, O. C., Bettolli, M. L., & Vargas, W. M. (2007). The impact of climate variability on soybean yields in Argentina. Multivariate regression. *Meteorological Applications*, 14, 3-14.

Piper, E. L., & Boote, K. J. (1999). Temperature and cultivar effects on soybean seed oil and protein concentrations. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, 1233-1242.

Samarah, N., Mullen, R., & Cianzio, S. (2004). Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 815-835.

Sarkar, D., Kar, S. K., Chattopadhyay, A., Rakshit, A., Tripathi, V. K., Dubey, P. K., & Abhilash, P. C. (2020). Low input sustainable agriculture: A viable climate-smart option for boosting food production in a warming world. *Ecological Indicators*, 115, 106412.

Sobko, O., Stahl, A., Hahn, V., Zikeli, S., Claupein, W., & Gruber, S. (2020). Envi-

ronmental Effects on Soybean (*Glycine Max* (L.) Merr) Production in Central and South Germany. *Agronomy*, 10(12), 1847. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121847>

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Belfort, B. L. (2011). Global Food Demand and the Sustainable Intensification of Agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 108, 20260-20264.

References

Acharya, B.S.; Dodla, S.; Gaston, L.A.; Darapuneni, M.; Wang, J.J.; Sepat, S.; Bohara, H. (2019). Winter cover crops effect on soil moisture and soybean growth and yield under different tillage systems. *Soil Tillage Res.* 195, 104430.

Avila, A.M.H.; Farias, J.R.B.; Pinto, H.S.; Pilau, F.G. (2013). Climatic restrictions for maximizing soybean yields. In *A Comprehensive Survey of International Soybean Research-Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships*; Board, J.E., Ed.; In Tech: Rijeka, Croatia, Balkans; pp. 367-375.

Bilyavska, L.G., Bilyavskiy, Y.V. (2023). Breeding for the adaptability of modern soybean varieties to drought / Yield and quality of crop products using modern growing technologies, dedicated to the 90th anniversary of the birth of Professor G.P. Zhemela: materials of the International Scientific-Practical Internet Conference (Poltava, September 30, 2023). Poltava: PDAU, 2023. P. 165-167.

Buczek, J.; Bobrecka-Jamro, D.; Jańczak-Pieniążek, M. (2022). Photosynthesis, Yield and Quality of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under Different Soil-Tillage Systems. *Sustainability*, 14, 4903. <https://doi.org/10.3390/su14094903>

da Silva, G.F.; Calonego, J.C.; Luperini, B.C.O.; Chamma, L.; Alves, E.R.; Rodrigues, S.A.; Putti, F.F.; da Silva, V.M.; de Almeida Silva, M. (2022). Soil-Plant Relationships in Soybean Cultivated under Conventional Tillage and Long-Term No-Tillage. *Agronomy*, 12, 697. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030697>

Dospekhov, B.A. (1985). Methodology of

field experiments (with the basics of statistical processing of research results). Ed. 5th, add. and processing – M.: Agropromizdat. 351 p.

Faligowska, A., Panasiewicz, K., Szymańska, G., Ratajczak, K. (2025). Optimizing Soybean Productivity: A Comparative Analysis of Tillage and Sowing Methods and Their Effects on Yield and Quality. *Agriculture*; 15(6): 626. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060626>

Fellmann, T.; Witzke, P.; Weiss, F.; Van Doorslaer, B.; Drabik, D.; Huck, I.; Salputra, G.; Jansson, T.; Leip, A. (2018). Major challenges of integrating agriculture into climate change mitigation policy frameworks. *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Chang.*, 23, 451–468.

Gawęda, D.; Nowak, A.; Haliniarz, M.; Woźniak, A. (2020). Yield and economic effectiveness of soybean grown under different cropping systems. *Int. J. Plant Prod.* , 14, 475–485.

Houx, J. H., Wiebold, W. J., & Fritschi, F. B. (2014). Rotation and tillage affect soybean grain composition, yield, and nutrient removal. *Field Crop Science*, 64, 12–21.

Hrytsayenko, Z. M., Hrytsayenko, A. O., & Karpenko, V. P. (2003). Methods of biological and agrochemical research of plants and soils. *Nichlava*.

Jongman, R. H. G., Bunce, R. G. H., Metzger, M. J., Młscher, C. A., Howard, D. C., & Mateus, V. L. (2006). Objectives and applications of a statistical environmental stratification of Europe. *Landscape Ecology*, 21, 409–419.

Maidanovych, N., Saydak, R., & Knysh, V. (2022). Comparative analysis of the frequency of drought events in southern Ukraine according to SPI and GTK indicators. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Issue 31 (45), pp. 137–144).

Markiewicz-Keszycka, M., Macken-Walsh, B., Carter, A., Mooney, S., Devereux, E. J., Henchion, M., & Hynds, P. (2025). Farmers' Experiences of Transitioning Towards Agroecology: Narratives of Change in Western Europe. *Agriculture*, 15(6), 625. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060625>

Mikheev, V. G. (2013). Yield of soybean varieties of different maturity groups depending on the weather conditions of the year and different sowing rates in the eastern part of the Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Central Agricultural Research Institute of the Kharkiv Region*, 14, 95–100.

Novokhatskyi, M., Negulyaeva, N., Bondarenko, O., & Husar, I. (2017). Expertise of systems of different-depth basic soil cultivation during the cultivation of grain crops. *Techniques and technologies of the agricultural industry*, (2), 33–37.

Penalba, O. C., Bettolli, M. L., & Vargas, W. M. (2007). The impact of climate variability on soybean yields in Argentina. *Multivariate regression. Meteorological Applications*, 14, 3–14.

Piper, E. L., & Boote, K. J. (1999). Temperature and cultivar effects on soybean seed oil and protein concentrations. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, 1233–1242.

Samarah, N., Mullen, R., & Cianzio, S. (2004). Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 815–835.

Sarkar, D., Kar, S. K., Chattopadhyay, A., Rakshit, A., Tripathi, V. K., Dubey, P. K., & Abhilash, P. C. (2020). Low input sustainable agriculture: A viable climate-smart option for boosting food production in a warming world. *Ecological Indicators*, 115, 106412.

Sobko, O., Stahl, A., Hahn, V., Zikeli, S., Claupein, W., & Gruber, S. (2020). Environmental Effects on Soybean (*Glycine Max* (L.) Merr) Production in Central and South Germany. *Agronomy*, 10(12), 1847. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121847>

Stotska, S. V., Kotkova, T. M., Klymenko, T. V., & Panchyshyn, V. Z. (2023). Formation of productivity of new soybean varieties in forest-steppe conditions. *Tavria Scientific Bulletin*, 129, 132–138.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global Food Demand and the Sustainable Intensification of Agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 108, 20260–20264.

UDC 631.559/.847:633.35

SOYBEAN PRODUCTIVITY UNDER CLIMATE CHANGE UNDER DIFFERENT SOIL CULTIVATION SYSTEMS IN THE FOREST-STEP OF UKRAINE

Novokhatskyi M., PhD in Agronomy, associate professor
e-mail: novokhatskyi@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3635-1761>
Stepchenko S., <https://orcid.org/0000-0003-2808-9644>
L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

The purpose of this work is to present the results of field studies on the effectiveness of applying different primary tillage systems for soybean cultivation in the Forest-Steppe zone of Ukraine and the influence of agrometeorological conditions during the growing season on biological grain yield.

Methods. *The studies were conducted using four primary tillage systems: traditional (A1), conservative (A2), mulching (A3), and no-till (A4). Soybean cultivation technology in the experiments was traditional for the research area, except for the studied factors. The effectiveness of the tillage systems was determined by assessing the biological yield of soybean and its structure. Biological grain yield was determined from sample sheaves collected in triplicate for each variant. The main elements of yield structure for each variant were identified during the analysis of the sample sheaves. Statistical data processing was performed using correlation analysis. Agrometeorological conditions during the soybean growing season were assessed using data from the Bila Tserkva weather station.*

Results. *Among the studied primary tillage systems for soybean cultivation, the traditional system with plowing showed the highest biological grain yield. Replacing moldboard plowing (traditional system) and deep loosening (conservative system) with shallow tillage negatively affected the biological yield. The average biological soybean grain yield over the research years was 2.76 t/ha, ranging from a minimum of 1.82 t/ha (2018, no-till system) to a maximum of 3.88 t/ha (2021, traditional primary tillage system). During the research period, a significant increase in average daily temperatures was observed in all summer months: June increased by 2.0 °C, July by 1.1 °C, and August by 2.0 °C. Correlation analysis indicated that changes in average daily temperatures are reflected in soybean biological grain yields. The strength of the relationship depends on the soybean growth and development phase and the primary tillage system used in the cultivation technology. Over the past ten years, the amount of atmospheric precipitation and its distribution have significantly changed, especially in the summer months, as indicated by the trend line and comparison with actual data from the previous thirty years of observations: the average precipitation sum for June decreased by 23.2 mm, for July by 19.4 mm, and for August by 34.4 mm.*

Conclusions. *The biological yield of soybean grain is related to the conditions of the year ($r = 0.418$) and the main tillage system ($r = 0.404$): reducing the depth of cultivation and refusing to turn the layer lead to a decrease in yield.*

Changes in average daily temperatures affect the biological yield of soybean. An increase in temperature in May (seedlings–beginning of branching) and August (grain filling–maturing) negatively affects yield ($r = -0.370$ and $r = -0.303$, respectively). There is an average direct relationship with the average daily temperature in June ($r = 0.343$) and a weak direct relationship with the temperature in July ($r = 0.111$). The amount of precipitation in May–June has practically no effect on yield. Soybeans respond positively to precipitation in August, during bean formation and grain filling, especially under traditional tillage systems ($r = 0.473$).

Keywords: soybean, biological yield, tillage systems, temperature, precipitation.