

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202002-250>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/250>

УДК 631.412; 551.583

ВПЛИВ ГІДРОТЕРМІЧНИХ УМОВ НА АГРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ СІВОЗМІН У СИСТЕМІ ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

С.І. Кудря, канд. с.-г. наук

Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, Харків, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4581-8426>; e-mail: kudryasi.com@gmail.com,

Анотація. Оптимізація водно-повітряного режиму ґрунту шляхом проведення різних видів меліорацій дає змогу значною мірою нівелювати негативну дію несприятливих погодних умов і забезпечити високу сталість агроєкосистем. Однак, стосовно вимог до органічного землеробства в районах із дефіцитом зволоження без достатніх водних ресурсів і без застосування добрив ефективно вести аграрне виробництво проблематично. Отже встановлення закономірностей динаміки агрофізичних властивостей ґрунтового покриву з урахуванням їх впливу на біопродуктивність агрофітоценозів за змінних погодних умов є теоретичною основою вирішення проблеми підвищення сталості землеробства, зокрема за використання лише природного фону родючості й отримання органічної продукції рослинництва. На інформаційній базі стаціонарного агротехнічного дослідження встановлено, що щільність складення ґрунту коливається за роками і залежить від гідротермічних умов, що складаються з достовірністю апроксимації – 0,75. Відзначено зворотню залежність між щільністю складення ґрунту та його водопроникністю в розрізі сівозмін із $R^2 = 0,8-0,9$, за роками з $R^2 = 0,6$. Коефіцієнт варіації врожайності бобових культур складає 30–33%, пшениці озимої – 33–37%, ячменю ярого – 36–37%, що є показниками її низької сталості за роками. Урожайність культур залежно від особливостей погодних умов року також істотно коливалася: гороху в межах 0,8–3,2, чини – 0,8–2,6, пшениці озимої – 0,6–6,8, гречки – 0,6–1,9, ячменю ярого – 0,6–3,5 т/га. Сівозміна з горохом за продуктивністю (середня 2,4 т/га зерна) переважає інші при збереженні закономірностей коливання цього показника стосовно гідротермічних умов. За середньостатистичної ціни реалізації прибутковість з 1 га сівозмінної площі всіх досліджуваних сівозмін виявилася одного рівня з коливанням у несприятливі роки 27–35 у. о./га, у сприятливі – 97–104 у. о./га, з середнім рівнем 66–73 у. о./га. Якщо припустити, що ціна реалізації органічної продукції буде на 25% вище порівняно зі звичайною, то середня за роками прибутковість зростає втричі. Перспективи подальших досліджень мають відповідати загальносвітовому тренду наукових досліджень, спрямованих на розробку концептуальних засад впливу гідротермічних умов на агрофізичні властивості ґрунту з урахуванням їх впливу на біопродуктивність агрофітоценозів як теоретичної основи вирішення проблеми підвищення сталості землеробства, зокрема за використання лише природного фону родючості органік-орієнтованої моделі розвитку аграрного сектора економіки.

Ключові слова: кореляція, гідротермічні умови, щільність складення ґрунту, урожайність, сівозміна, чистий прибуток, органічна продукція.

Актуальність дослідження. Мінливість погоди найбільшою мірою впливає на щорічні коливання продуктивності рослин і від цього залежить ефективність управлінських рішень у сільськогосподарському виробництві [1–5]. За цього продуктивність земель сільськогосподарського призначення визначається складним комплексом умов: чергуванням культур у сівозміні, запасами доступних біогенних елементів, агрофізичними властивостями ґрунту, станом і структурою ґрунтової біоти, біологічними особливостями сортів і гібридів, рівнем застосування органічних і мінеральних добрив, кліматичними та агрометеорологічними умовами [6–8]. Останні часто відіграють вирішальне значення [9–15].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Результати стаціонарних агротехнічних дослідів [16; 17] показують, що внаслідок щорічної мінливості погоди рівень урожайності коливається в широкому діапазоні навіть у межах однієї ґрунтово-кліматичної зони. Зрозуміло, що серед найбільш дієвих, вагомих і поширених факторів підвищення продуктивності та стійкості агроєкосистем є різні види меліорацій, зокрема гідротехнічна та агрохімічна. Як правило, оптимізація водно-повітряного та поживного режимів ґрунту дає змогу майже повністю нівелювати негативну дію несприятливих погодних умов і забезпечити високу сталість систем землеробства [18]. Однак, стосовно вимог до

© Кудря С.І., 2020

органічного землеробства в районах із дефіцитом вологи без достатніх водних ресурсів і без застосування добрив ефективно вести аграрне виробництво проблематично.

При мінливості погоди змінюється рухомість макро- та мікроелементів у ґрунті, темпи життєдіяльності рослин, інтенсивність фотосинтезу і дихання, активність біохімічних процесів обміну речовин, ступінь розвитку кореневої системи та інше, що, своєю чергою має вплив на потребу і темпи споживання рослинами поживних речовин. Отже встановлення закономірностей динаміки основних властивостей ґрунтового покриву з урахуванням їх впливу на біопродуктивність агрофітоценозів у змінних погодних умовах є теоретичною основою вирішення проблеми підвищення сталості землеробства, зокрема за використання лише природного фону родючості та отримання органічної продукції рослинництва [19–21].

Продуктивність рослин є функцією відповідності рівнів світлового та мінерального живлення. Чим вище рівень світлового живлення, тим при оптимальному забезпеченні вологою більше синтезується вуглеводів у рослин і тим більше біогенних елементів вони здатні засвоїти [22]. Світло впливає на азотне живлення не лише через фотосинтетичні процеси, а й через транспірацію. Остання відіграє важливу роль у транспортуванні рухомих сполук мінеральних речовин і залежить не лише від сонячної радіації, а й від температури та вологості. За підвищеної вологості повітря рослини менш чутливі до підвищення концентрації поживного розчину [23].

Температура діє на швидкість руху води та розчинених солей у ґрунті і тим самим впливає на темпи надходження поживних речовин у рослини з ґрунту та добрив. За невисоких температур зменшується надходження азоту та послаблюється його вплив на утворення органічних сполук. За більш низьких температур поглинання кореневою системою азоту та фосфору різко знижується. Поглинання калію за цього знижується не так помітно. В інтервалі температур 10–25 °C підвищується мобілізація поживних речовин із ґрунту. Оптимальна температура для надходження азоту та фосфору в рослини знаходиться в межах 23–25 °C. Вона наближається до оптимальних температур росту зернових культур у період трубкування–колосіння і відповідає 22–24 °C денних температур або 14–16 °C середньодобових [24; 25].

Рівень забезпечення ґрунтової вологи також впливає на доступність поживних речовин у ґрунті та на використання їх росли-

нами. При значному дефіциті вологи в ґрунті наявні макро- та мікроелементи не дають позитивного ефекту і можуть негативно діяти на формування врожаю. Надлишкове зволоження порушує водно-повітряний режим ґрунту, пригнічує процеси нітрифікації, зменшує надходження до рослин елементів живлення, сприяє накопиченню токсичних речовин. Наприклад, якщо за оптимального рівня зволоження коефіцієнт використання рослинами азоту з добрив становить 57%, то за надлишкового – лише 9% [26; 27].

Низкою спеціальних досліджень було встановлено, що залежність землеробства від метеорологічних факторів з часом не лише не знижується, а, навпаки, певною мірою навіть підвищується, що виражається в зростанні абсолютних відхилень урожайності від середнього рівня і збільшенні різниці між найбільш врожайними та неврожайними роками. Цю закономірність пояснюють, перш за все, тим, що сучасні високопродуктивні сорти та гібриди, маючи більш високий рівень обміну речовин і енергії, характеризуються підвищеною чутливістю до умов середовища і досить відчутно реагують на будь-які порушення водного, теплового та поживного режимів [28; 29].

Мета дослідження – встановити закономірності змін агрофізичних властивостей чорнозему типового та врожайності культур у різних сівозмінах стосовно динаміки агрометеорологічних факторів в умовах недостатнього зволоження та потенціал продуктивності круп'яних і зернових культур у системі органічного землеробства без застосування мінеральних добрив.

Матеріали і методи дослідження. Оцінювання та прогноз умов вологозабезпечення проведено на основі кліматичного водного балансу (КВБ) [30]. Дослід закладено у 1962 р., де вивчали польові сівозміни з різними попередниками пшениці озимої. У цьому матеріалі розглянуто 3 сівозміни: I. 1 – чистий пар; 2 – пшениця озима; 3 – гречка; 4 – ячмінь ярий, II. 1 – горох; 2 – пшениця озима; 3 – гречка; 4 – ячмінь ярий, III. 1 – чина; 2 – пшениця озима; 3 – гречка; 4 – ячмінь ярий.

При закладанні та проведенні польового стаціонарного дослідження використовували методики Б.О. Доспехова [31], П.М. Константинова [32], В.О. Єщенка [33]. Відбір і підготовку зразків до аналізу здійснювали за Ю.К. Кудзіним [34].

Для оцінки розмаху коливань урожайності культур і продуктивності сівозміни за роками використано коефіцієнт варіації [35].

Оцінку економічної ефективності сівозмін здійснювали за даними Держкомстату України з використанням інформації з собівартості зерна вирощуваних культур та за ціною його реалізації в середньому за 5 років [36].

Результати дослідження та їх обговорення. Район досліджень належить до східної частини Лісостепової природно-кліматичної зони з недостатнім рівнем природного вологозабезпечення. Внаслідок кліматичних змін середньорічна температура повітря має стійку тенденцію до зростання (рис. 1).

У середньому за роки досліджень, порівнюючи з 1961–1990 рр., середньорічна температура повітря підвищилася на 1,2 °С і ця тенденція зберігається. Незважаючи на загальну тенденцію зменшення річної кіль-

кості опадів, особливо за останні три роки, їх середнє значення за 1996–2019 рр. відповідає рівню нормативного періоду. У зв'язку зі значним підвищенням температурного режиму в районі підвищується і рівень потенційного випаровування, що суттєво знижує умови вологозабезпечення території впродовж року. Якщо на кінець травня дефіцит КВБ, розрахованого наростаючим підсумком, становить 65 мм, то до кінця вегетаційного періоду він зростає до 332 мм (рис. 2), проти 6 і 274 мм у нормативний період відповідно.

Загалом за рік динаміка КВБ має стійку тенденцію до зниження. Якщо у 1996–2002 рр. річний дефіцит КВБ становив 100–200 мм, то в 2010–2019 – 300–400 мм і більше. Суттєве зниження умов зволоження вегетаційного

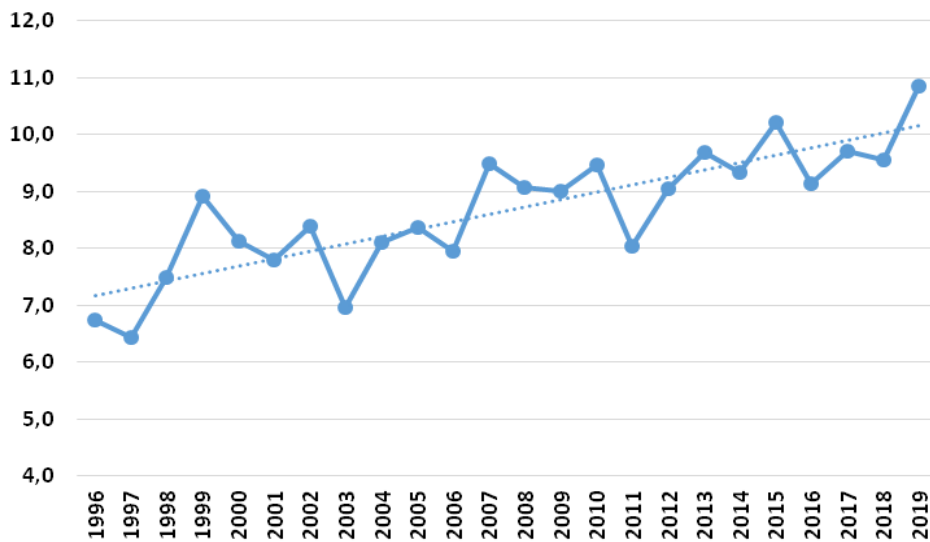


Рис. 1. Динаміка середньорічної температури повітря, °С

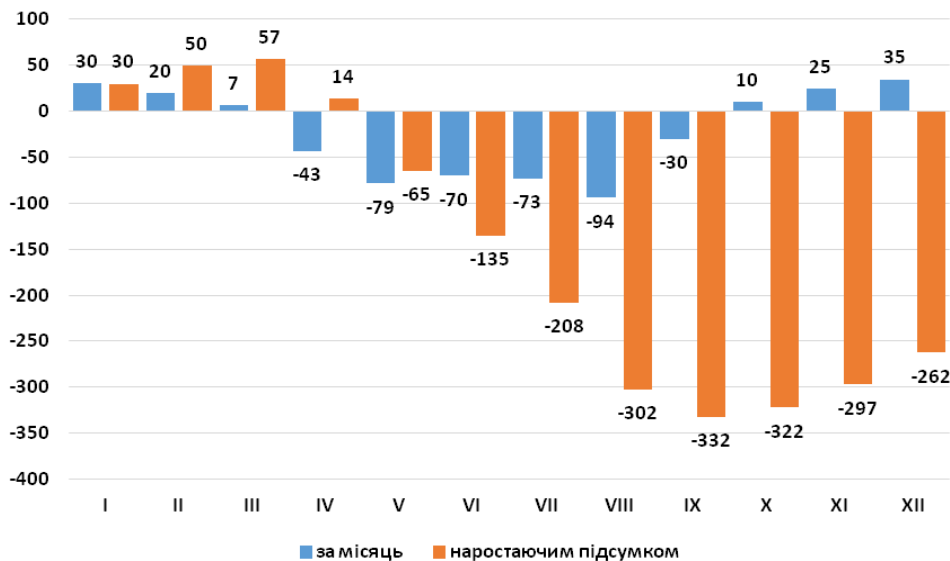


Рис. 2. Динаміка помісячного кліматичного водного балансу в середньому за 1996–2019 рр., мм

періоду підтверджується і за результатами оцінки гідротермічного коефіцієнта. У 1996–2005 рр. середнє значення ГТК за квітень–вересень становило 1,0–1,2 (рис. 3), що за шкалою оцінки ступеня посушливості відповідає слабкому зволоженню [37], а в останні роки менше 0,7. Загалом за 1996–2019 рр. сильно та середньо посушливі умови вегетаційного періоду відмічались у 58% років, а достатнє зволоження – лише в 21% (табл. 1), тобто 2 роки із 10.

Отже, за наявних кліматичних змін відбулося суттєве погіршення умов природного вологозабезпечення, що обмежує реалізацію потенціалу родючості ґрунту, а в результаті і рівня продуктивності сільськогосподарських культур.

Щільність складення ґрунту за роками досліджень істотно коливалася. Наприклад, у сівозміні з чистим паром у шарі 0–15 см цей показник мінімально складав 1,01 г/см³, амаксимально–1,20г/см³ізсереднімзначенням 1,15 г/см³. Причому аналогічні коливання за роками відзначалися в інших сівозмінах, особливо в шарі 15–30 см, що свідчить про наявність загального чинника, який впливає на даний показник. Кореляційний аналіз показав,

що таким чинником є стан зволоження ґрунту, який визначається КВБ в окремі роки.

Так, за період січень–липень у сівозміні з чистим паром КВБ мінімально становив –183 мм, максимально – +26 мм. Відповідно в згадані роки щільність ґрунту складала 1,23 і 1,01 г/см³ зі збереженням залежності за цим показником по всіх сівозмінах. Загалом за роками досліджень показник достовірності апроксимації між щільністю складення шару ґрунту 0–15 см і КВБ становив $R^2 = 0,75$. Слід також відзначити, що співставлення водопроникності ґрунту зі щільністю складення його 0–15 см шару в розрізі сівозмін показало наявність зворотної залежності з $R^2 = 0,8–0,9$, а за роками досліджень – з $R^2 = 0,6$. У сівозміні з чистим паром за щільності складення ґрунту 1,15 г/см³ середня за годину водопроникність становила 826 мм, а в сівозміні з горохом відповідно 1,08 г/см³ і 1385 мм/год., у сівозміні з чиною – 1,17 г/см³ і 577 мм/год.

Урожайність культур залежно від особливостей погодних умов року також істотно коливалася. Так, наприклад, вихід зерна гороху змінювався в межах 0,8–3,2 т/га, чини – 0,8–2,6 т/га. Змінні агрометеорологічні фактори

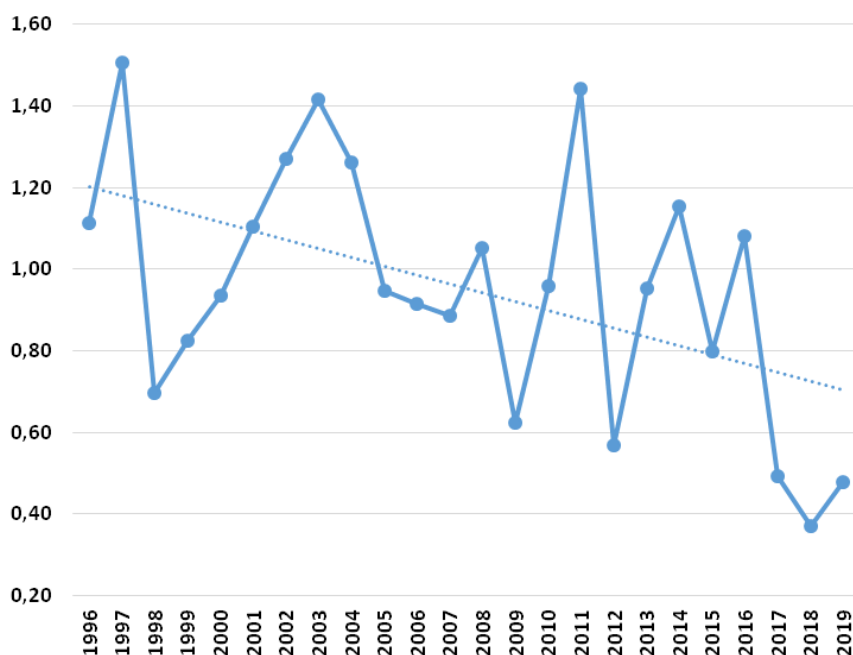


Рис. 3. Динаміка ГТК за квітень–вересень

1. Частота повторень різних рівнів зволоження вегетаційного періоду за ГТК (1996-2019 рр.)

Ступінь посушливості	ГТК	Частота повторень, %
сильно посушливо	менше 0,7	25
середньо посушливо	0,71–1,00	33
слабке зволоження	1,01–1,20	21
достатнє зволоження	1,21–1,80	21

на ці культури впливали порізно та кореляції між їх урожайністю за роками не відзначається при перевазі за середніми і максимальними значеннями гороху над чиною. Навпаки, урожайність пшениці озимої по чистому пару після гороху та після чини за роками коливалася в єдиній закономірності з R^2 на рівні 0,9. Хоча, за середніми та максимальними значеннями чистий пар істотно переважає горох, а горох – чину. Аналогічні тенденції впливу погодних умов і попередників на вихід зерна відзначаються на гречці та ячмені ярого (рис. 4).

У цілому коефіцієнт варіації врожайності бобових культур складає 30–33%, пшениці озимої – 33–37%, ячменю ярого – 36–37%, що є показниками її низької сталості за роками. Лише гречка має середній рівень варіації – 23–25%.

Середня за роками продуктивність сівозмін за зерновими одиницями істотно відрізняється за збереження тенденцій впливу особливостей погодних умов на даний показник з $R^2 = 0,75–0,90$. У сівозміні з чистим паром вихід зерна пшениці, гречки та ячменю на гектар сівозмінної площі становить мінімально 1,06, максимально – 2,87 із середнім значенням 2,01 т/га, у сівозміні з горохом відповідно 1,51; 2,98 і 2,41 т/га та у сівозміні з чиною – 1,44; 2,83 і 2,24 т/га. Відповідно можна рекомендувати ротацію з горохом, що у середньому забезпечує на рівні 2,4 т/га зерна для отримання органічних крупп або борошна.

З метою порівняння економічної ефективності культур і сівозмін використовували дані Держкомстату в середньому за 6 років: для гороху і чини ці показники склали 229 і 251 у.о./т, для пшениці озимої – 148 і 170 у.о./т, для гречки – 320 і 422 у.о./т та для ячменю ярого – 156 і 168 у.о./т.

Найвищий чистий прибуток порівняно з іншими культурами забезпечує гречка (табл. 2). За мінімальної врожайності по досліджуванім сівозмінам ця культура дає змогу отримувати 63–88 у.о./га, за середньої – 124–138 у.о./га та за максимальної – 189–203 у.о./га. У несприятливі роки ячмінь ярий дає 12–13 у.о./га, з максимальним значенням 33–42 у.о./га та з середнім рівнем – 27–29 у.о./га. Пшениця озима дає змогу отримувати мінімально 14–20 у.о./га, максимально – 122–150 у.о./га та в середньому – 80–95 у.о./га, горох – 29, 41 та 48 у.о./га відповідно, чина – 17, 58 і 40 у.о./га.

За прибутковістю на 1 га сівозмінної площі всі досліджувані сівозміни виявилися аналогічними з коливанням у несприятливі роки 27–35 у.о./га, у сприятливі – 97–104 у.о./га, з середнім рівнем – 66–73 у.о./га. Якщо припустити, що ціна реалізації органічної продукції буде на 25% вище порівняно зі звичайною, то середня за роками прибутковість зросте втричі.

Перспективи подальших досліджень мають відповідати загальносвітовому тренду,

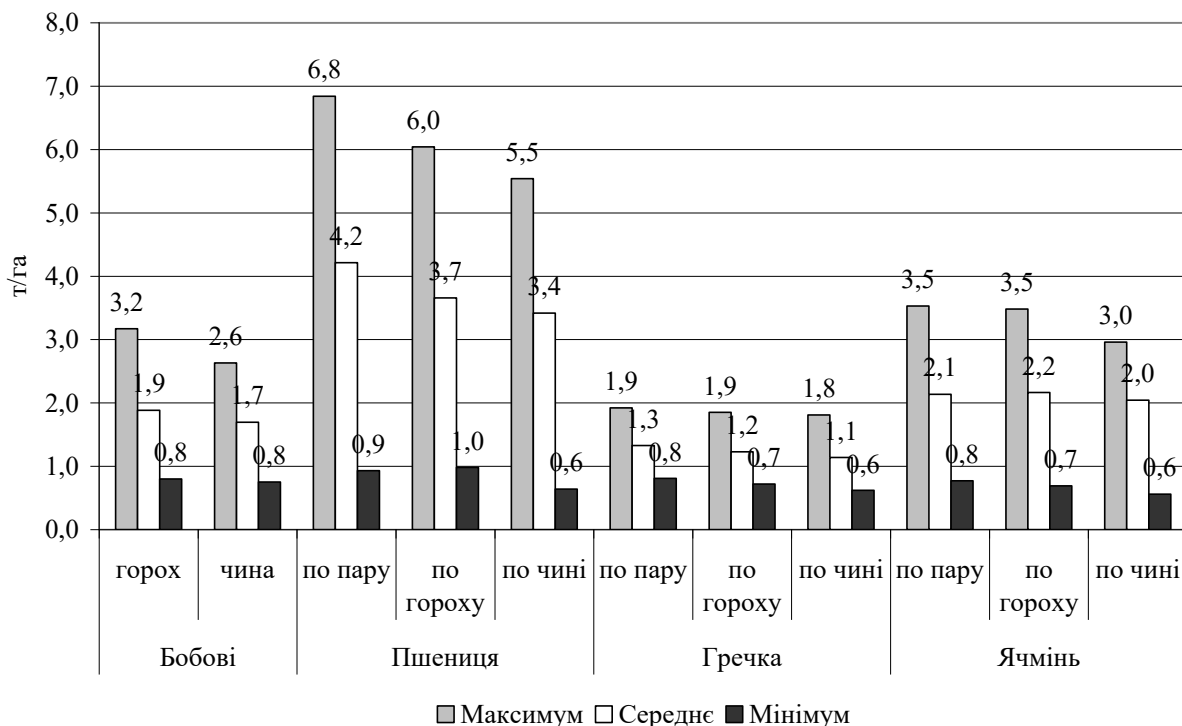


Рис. 4. Межі коливання врожайності культур за роками і сівозмінами

2. Чистий прибуток на гектар сівозмінної площі в середньому за роками в найбільш сприятливі та несприятливі роки за погодними умовами

Культури і сівозміни	Заграти			Валовий дохід			Чистий прибуток		
	1**	2	3	1	2	3	1	2	3
Горох	302	725	495	331	796	543	29	71	48
Чина	172	602	421	188	660	461	17	58	40
Пшениця по пару	138	1012	642	158	1163	738	20	150	95
Пшениця після гороху	145	894	561	167	1027	644	22	133	83
Пшениця після чини	95	820	539	109	942	619	14	122	80
Гречка в сівозміні з паром	275	614	434	363	810	572	88	196	138
Гречка в сівозміні з горохом	234	592	414	308	781	545	74	189	132
Гречка в сівозміні з чиною	198	638	390	262	841	515	63	203	124
Ячмінь у сівозміні з паром	173	551	368	186	593	397	13	42	28
Ячмінь у сівозміні з горохом	165	543	374	178	585	403	13	42	29
Ячмінь у сівозміні з чиною	162	432	352	175	465	379	12	33	27
На 1 га сівозміни з паром	147	544	361	<u>177</u> 221*	<u>642</u> 802	<u>427</u> 533	<u>30</u> 75	<u>97</u> 258	<u>66</u> 172
На 1 га сівозміни з горохом	211	688	461	<u>246</u> 308	<u>797</u> 996	<u>534</u> 667	<u>35</u> 96	<u>108</u> 308	<u>73</u> 206
На 1 га сівозміни з чиною	157	623	426	<u>183</u> 229	<u>727</u> 909	<u>494</u> 617	<u>27</u> 72	<u>104</u> 286	<u>68</u> 191

*У знаменнику валовий і чистий прибуток за підвищення ціни реалізації на 25%;

**1 – мінімум, 2 – максимум, 3 – середнє

який спрямовано на розробку концептуальних засад впливу гідротермічних умов на агрофізичні властивості ґрунту з урахуванням їх впливу на біопродуктивність агрофітоценозів як теоретичної основи вирішення проблеми підвищення сталості землеробства, зокрема за використання лише природного фону родючості органік-орієнтованої моделі розвитку аграрного сектора економіки.

Висновки. Щільність ґрунту коливається за роками і залежить від гідротермічних умов, що складаються. Відзначається також кореляція між щільністю складення ґрунту та його водопроникністю. Коефіцієнт варіації врожайності бобових культур складає 30–33%, пшениці озимої – 33–37%, ячменю

ярого – 36–37%, що є показниками її низької сталості за роками. Сівозміна з горохом за продуктивністю зерна в середньому переважає інші при збереженні закономірностей коливання цього показника стосовно гідротермічних умов і умов живлення за роками досліджень. За середньостатистичної ціни реалізації прибутковість з 1 га сівозмінної площі всіх досліджуваних сівозмін виявилася одного рівня з коливанням у несприятливі роки 27–35 у.о./га, у сприятливі – 97–104 у.о./га, із середнім рівнем 66–73 у.о./га. Якщо припустити, що ціна реалізації органічної продукції буде на 25% вище порівняно зі звичайною, то середня за роками прибутковість зросте втричі.

Бібліографія

1. Кривошеїн О.О., Однолеток Л.П., Дзюба Л.П. Оцінка впливу погодних умов та організаційно-технологічних заходів на урожайність озимої пшениці за її кліматичним потенціалом. Наукові праці УкрНДГМІ, 2016. Вип. 269. С. 151–158.
2. Мюллер Д., Юнгандреас А., Кох Ф, Шірхорн Ф. Вплив кліматичних змін на виробництво пшениці в Україні. Київ, 2016. 45 с.
3. A multi-model analysis of teleconnected crop yield variability in a range of cropping systems. Heino, M.; Guillaume, JHA; Muller, C.; et al. COPERNICUS GESELLSCHAFT MBH Volume: 11 Issue: 1 Pages: 113–128. Published: FEB 11 2020. DOI: 10.5194/esd-11-113-2020.
4. Synchronous crop failures and climate-forced production variability. By: Anderson, W.B.; Seager, R.; Baethgen, W.; et al. SCIENCE ADVANCES Volume: 5 Issue: 7 Article Number: eaaw 1976 Published: JUL 2019. DOI:10.1126/sciadv.aaw1976.
5. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. By: Challinor, A.J.; Watson, J.; Lobell, D.B.; et al. NATURE CLIMATE CHANGE Volume: 4 Issue: 4 Pages: 287–291 Published: APR 2014. DOI:10.1038/NCLIMATE2153.

6. Панфілова А. В., Гамаюнова В. В. Формування надземної маси сортів пшениці озимої залежно від оптимізації живлення в умовах Південного Степу України // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія. 2018. № 22(1). С. 332–339.
7. Сталість землеробства: проблеми і шляхи вирішення / Сайко В.Ф., Малієнко А.М., Мазур Г.А. та ін.; за ред. В.Ф. Сайка. 2-е вид., переробл. і допов. Київ: Урожай, 1993. С. 3–8.
8. Меліоровані агроєкосистеми. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України (зони зрошення і осушення); за ред. М.І. Ромащенко, Ю.О. Тараріко. Київ; Ніжин: Видавництво ПП Лисенко М.М., 2017. 696 с.
9. Довгаль Г.П. Оцінка залежності урожайності озимої пшениці від впливу метеорологічних факторів в умовах зони Лісостепу // Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2017. № 1-2. С. 157–160.
10. Калитка В.В. Інновації в інтенсивних технологіях вирощування зернових культур за умов глобального потепління і аридизації клімату Степової зони України // Інноваційні агротехнології в умовах глобального потепління: Міжнар. наук.-практ. конф.: матеріали тез, 4–6 червня 2009 р. Випуск 1. Мелітополь: ТДАТУ, 2009. С. 64–66.
11. Modeling the impacts of temperature and precipitation changes on soil CO₂ fluxes from a Switchgrass stand recently converted from cropland (2016) / [L. Lai, S. Kumar, R. Chintala, V.N. Owens, D. Clay, J. Schumacher, A.S. Nizami, S.S. Lee, R. Rafique] // J Environ Sci (China). May. № 43. P. 15–25.
12. North-Eurasian Climate Center – Review of the state of climate change for 2016 (January-December).
13. Simulating the effects of climate and agricultural management practices on global crop yield. By: Deryng, D.; Sacks, W.J.; Barford, C.C.; et al. GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES Volume: 25 Article Number: GB 2006. Published: MAY 20 2011. DOI: 10.1029/2009GB003765.
14. Adapting agriculture to climate change. By: Howden, S. Mark; Soussana, Jean-Francois; Tubiello, Francesco N.; et al. PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA Volume: 104 Issue: 50 Pages: 19691–19696 Published: DEC 11 2007. DOI: 10.1073/pnas.0701890104.
15. Identifying climatic limitations to grain maize yield potentials using a suitability evaluation approach. Holzkamper, A.; Calanca, P.; Fuhrer, J. AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY Том: 168 Pages: 149–159 Published: JAN 15 2013. DOI: 10.1016/j.agrformet.2012.09.004.
16. Стационарні польові дослідження України. Реєстр атестатів. Київ: Аграрна наука, 2014. 146 с.
17. Кулик М.І., Рожко І.І. Вплив погодних умов вегетаційного періоду на елементи продуктивності та урожайності проса прутноподібного // Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2017. № 4. С. 50–55.
18. Наукові засади розвитку аграрного сектора економіки південного регіону України / за ред.: М.І. Ромащенко, Р.А. Вожегової, А.П. Шатковського. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 438 с.
19. Броунов П.И. Избранные сочинения. Т. 2. Сельскохозяйственная метеорология. Ленинград: Гидрометеиздат, 1957. 340 с.
20. Дояренко А.Г. Факторы жизни растений. Москва: Сельхозгиз, 1966. 280 с.
21. Зоидзе Е.К. Погода, климат и эффективность труда в земледелии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 224 с.
22. Куперман И.А. К регуляции соответствия между уровнями азотного питания у высших наземных растений // В кн.: Физиологические механизмы адаптации и устойчивости растений. Ч. 1. Новосибирск: Наука, 1972. С. 5–33.
23. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. 200 с.
24. Коровин А.И. Роль температуры в минеральном питании растений. Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. 284 с.
25. Мищенко З.А. Суточный ход температуры воздуха и его агроклиматическое значение. Ленинград: Гидрометеиздат, 1962. 200 с.
26. Кулик М.С. Гидрометеорологические условия, вызывающие потери азота с внутрипочвенным стоком. В кн. Агрометеорологические аспекты повышения продуктивности земледелия. Обнинск, 1970.
27. Сапожников Н.А. Азот в земледелии нечерноземной полосы. Ленинград: Колос, 1973. 322 с.
28. Николаев М.В. Современный климат и изменчивость урожаев. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1994. 200 с.

29. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В. Влияние глобального потепления на агроклиматические ресурсы и продуктивность сельского хозяйства России// *Метеорология и гидрология*. 1994. № 4. С. 101–111.
30. Georgeta B., Remus P. Climatic water balance dynamics over the last five decades in Romania's most arid region, Dobrogea. *J. Geogr. Sci.* 2015. № 25(11). P. 1307–1327.
31. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / под. ред. В.Е. Егорова. Москва: Колос, 1965. 432 с.
32. Константинов П.Н. Основы сельскохозяйственного опытного дела. Москва: Сельхозгиз, 1952. 446 с.
33. Основы наукових досліджень в агрономії / Єщенко В.О. та ін./ Київ: Дія, 2005. 288 с.
34. Кудзин Ю.К. Отбор растительных проб кукурузы в поле и подготовка их для анализа. Методические указания географической сети полевых опытов с удобрениями. 1963. Вып. 9. С. 10–14.
35. Лакин Г.Ф. Биометрия. Москва: Высшая школа, 1990. 352 с.
36. Статистичний збірник «Сільське господарство України» за 2016 рік. Київ: Державна служба статистики України, 2016. С. 2–246.
37. Адаменко Т.І. Агрокліматичне зонування території України з урахуванням зміни клімату. Біла Церква: ТОВ «РІА» БЛПЦ, 2014. 16 с.

References

1. Kryvoshein, O.O., Odnolietok, L.P. & Dziuba, L.P. (2016). Otsinka vplyvu pohodnykh umov ta orhanizatsiino-tekhnologichnykh zakhodiv na urozhainist ozymoi pshenytsi za yii klimatychnym potentsialom [Assessment of the impact of weather conditions and organizational and technological measures on the yield of winter wheat by its climatic potential]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI*, 269, 151–158. [in Ukrainian]
2. Miuller, D., Yunhandreas, A., Kokh, F., & Shirkhorn, F. (2016). Vplyv klimatychnykh zmin na vyrobnytstvo pshenytsi v Ukraini [The impact of climate change on wheat production in Ukraine]. Kyiv.
3. Heino, M., Guillaume, J.H.A., & Muller, C. (2020). A multi-model analysis of teleconnected crop yield variability in a range of cropping systems. *COPERNICUS GESELLSCHAFT MBH*, Vol.11, Iss. 1, 113–128. doi: 10.5194/esd-11-113-2020.
4. Anderson, W.B., Seager, R., & Baethgen, W. (2019). Synchronous crop failures and climate-forced production variability. *SCIENCE ADVANCES*, Vol. 5, Iss. 7, Article Number: eaaw 1976. doi:10.1126/sciadv.aaw1976.
5. Challinor, A.J., Watson, J., & Lobell, D.B. (2018). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation.; et al. *NATURE CLIMATE CHANGE*, Vol. 4, Iss. 4, 287–291. doi: 10.1038/NCLIMATE2153.
6. Panfilova, A.V., & Hamaiunova, V.V. (2018). Formuvannia nadzemnoi masy sortiv pshenytsi ozymoi zalezno vid optymizatsii zhyvlennia v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Formation of aboveground mass of winter wheat varieties depending on nutrition optimization in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ahronomiia*, 22(1), 332–339. [in Ukrainian]
7. Saiko, V.F., Maliienko, A.M., & Mazur, H.A. et al. (1993). Stalist zemlerobstva: problemy i shliakhy vyryshennia [Sustainability of agriculture: problems and solutions]. V. F. Saiko (Ed.). Kyiv: Urozhai. [in Ukrainian]
8. Romashchenko, M.I., & Tarariko, Yu.O. (Ed.). (2017). Meliorovani ahroekosystemy. Otsinka ta ratsionalne vykorystannia ahroresursnoho potentsialu Ukrainy (zony zroshennia i osushennia) [Reclaimed agroecosystems. Assessment and rational use of agro-resource potential of Ukraine (irrigation and drainage zones)]. Kyiv; Nizhyn: P P Lysenko M. M. [in Ukrainian]
9. Dovhal, H.P. (2017). Otsinka zalezhnosti urozhainosti ozymoi pshenytsi vid vplyvu meteorologichnykh faktoriv v umovakh zony Lisostepu [Estimation of dependence of winter wheat yield on influence of meteorological factors in the conditions of the Forest-Steppe zone]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 1-2, 157–160. [in Ukrainian]
10. Kalytka, V.V. (2009). Innovatsii v intensyvnykh tekhnolohiiakh vyroshchuvannia zernovykh kultur za umov hlobalnoho poteplinnia i arydyzatsii klimatu Stepvoi zony Ukrainy [Innovations in intensive technologies of grain growing under conditions of global warming and aridization of the climate of the Steppe zone of Ukraine]. *Innovatsiini ahrotekhnolohii v umovakh hlobalnoho poteplinnia: Mizhnar. nauk.-prakt. konf.: materialy tez. Melitopol: T DATU*, 1, 64–66. [in Ukrainian]

11. Lai, L., Kumar, S., Chintala, R., Owens, V.N., Clay, D., Schumacher, J., Nizami, A.S., Lee, S.S., Rafique, R. (2016). Modeling the impacts of temperature and precipitation changes on soil CO₂ fluxes from a Switchgrass stand recently converted from cropland. *J Environ Sci (China)*, № 43, 15–25.
12. North-Eurasian Climate Center – Review of the state of climate change for 2016 (January-December).
13. Deryng, D., Sacks, W.J., Barford, C.C., & Ramankutty, N. (2011). Simulating the effects of climate and agricultural management practices on global crop yield. *Global Biogeochem. Cycles*, 25, GB2006. doi:10.1029/2009GB003765.
14. Howden, S.M., Soussana, J.F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M., & Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(50), 19691–19696. doi: 10.1073/pnas.0701890104.
15. Holzkämper, A., Calanca, P., & Fuhrer, J. (2013). Identifying climatic limitations to grain maize yield potentials using a suitability evaluation approach. *Agricultural and Forest Meteorology*. 168. 149–159. doi: 10.1016/j.agrformet.2012.09.004.
16. Stacionarni polovi doslidy Ukrainy. Reiestr atestativ [Stationary field experiments in Ukraine. Register of certificates]. (2014). Kyiv: Ahrar. nauka. [in Ukrainian]
17. Kulyk, M.I., & Rozhko, I.I. (2017). Vplyv pohodnykh umov vegetatsiinoho periodu na elementy produktyvnosti ta urozhainosti prosa prutopodibnoho [The influence of weather conditions of the growing season on the elements of productivity and yield of millet]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 4, 50–55. [in Ukrainian]
18. Romashchenko, M.I., Vozhehova, R.A., & Shatkovskiy, A.P. (Ed.). (2017). *Naukovi zasady rozvytku ahrarnoho sektora ekonomiky pivdennoho rehionu Ukrainy* [Scientific principles of development of the agricultural sector of the economy of the southern region of Ukraine]. Kherson: OLDI-PLIUS. [in Ukrainian]
19. Brounov, P.Y. (1957). *Yzbrannye sochyneniya. Selskokhoziaistvennaia meteorohyia* [Selected works. Agricultural meteorology]. (Vol 2). Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]
20. Doyarenko A.G. (1966). *Faktory zhizni rasteniy* [Plant life factors]. Moskva: Sel'khozgiz. [in Russian]
21. Zoidze, Ye.K. (1987). *Pogoda, klimat i effektivnost' truda v zemledelii* [Weather, climate and labor efficiency in agriculture]. Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]
22. Kuperman, I.A. (1972). *K regulyatsii sootvetstviya mezhdru urovnyami azotnogo pitaniya u vysshikh nazemnykh rasteniy* [Regulating the correspondence between nitrogen nutrition levels in higher terrestrial plants]. *Fiziologicheskkiye mekhanizmy adaptatsii i ustoychivosti rasteniy*. Novosibirsk: Nauka, 1, 5–33. [in Russian]
23. Tooming, Kh.G. (1977). *Solnechnaya radiatsiya i formirovaniye urozhaya* [Solar radiation and crop formation]. Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]
24. Korovin, A.I. (1972). *Rol' temperatury v mineral'nom pitanii rasteniy* [The role of temperature in mineral nutrition of plants]. Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]
25. Mishchenko, Z.A. (1962). *Sutochnyy khod temperatury vozdukha i yego agroklimaticheskoye znacheniye* [Daily variation of air temperature and its agroclimatic value]. Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]
26. Kulik, M.S. (1970). *Agrometeorologicheskkiye aspekty povysheniya produktivnosti zemledeliya* [Agrometeorological aspects of increasing the productivity of agriculture]. Obninsk. [in Russian]
27. Sapozhnikov, N.A. (1973). *Azot v zemledelii nechernozemnoy polosy* [Nitrogen in agriculture of the non-chernozem belt]. Leningrad: Kolos. [in Russian]
28. Nikolayev, M.V. (1994). *Sovremennyy klimat i izmenchivost' urozhayev* [Modern climate and crop variability]. Sankt-Peterburg: Gidrometeoizdat. [in Russian]
29. Sirotenko, O.D., & Abashina Ye.V. (1994). *Vliyaniye global'nogo potepleniya na agroklimaticheskkiye resursy i produktivnost' sel'skogo khozyaystva Rossii* [Impact of global warming on agro-climatic resources and agricultural productivity in Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 4, 101–111. [in Russian]
30. Georgeta, B., & Remus, P. (2015). Climatic water balance dynamics over the last five decades in Romania's most arid region, Dobrogea. *J. Geogr. Sci.*, № 25(11), 1307–1327.
31. Dospekhov, B.A. (1965). *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience]. V.Ye. Yegorov (Ed.). Moskva: Kolos. [in Russian]
32. Konstantinov, P.N. (1952). *Osnovy sel'skokhozyaystvennogo opytnogo dela* [Agricultural experimental basics]. Moskva: Sel'khozgiz. [in Russian]

33. Yeshchenko, V.O., Kopytko, P.H., Opryshko, V.P., & Kostohryz, P.V. (2005). *Osnovy nauk-ovykh doslidzhen v ahronomii* [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Kyiv: Diia. [in Ukrainian]
34. Kudzin, Yu.K. (1963). *Otbor rastitel'nykh prob kukuruzy v pole i podgotovka ikh dlya analiza* [Taking crop samples of corn in the field and preparing them for analysis]. *Metodicheskiye ukazaniya geograficheskoy seti polevykh opytov s udobreniyami*, 9, 10–14. [in Russian]
35. Lakin, G.F. (1990). *Biometriya* [Biometrics]. Moskva: Vyssh. shk. [in Russian]
36. *Sil'ske hospodarstvo Ukrainy* [Agriculture of Ukraine]. (2016). Kyiv: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 2–246. [in Ukrainian]
37. Adamenko, T.I. (2014). *Ahroklimatychne zonuvannya terytorii Ukrainy z vrakhuvanniam zminy klimatu* [Agroclimatic zoning of the territory of Ukraine taking into account climate change]. Bila Tserkva: TOV «RIA» BLITs. [in Ukrainian]

С.И. Кудря

Влияние гидротермических условий на агрофизические свойства чернозёма типичного и продуктивность севооборотов в системе органического земледелия

Аннотация. Оптимизация водно-воздушного режима почвы путём применения различных видов мелиораций даёт возможность в значительной степени нивелировать негативное действие неблагоприятных погодных условий и обеспечить высокую стабильность агроэкосистем. Но соответственно в соответствии с требованиями к органическому земледелию в районах с дефицитом увлажнения без достаточных водных ресурсов и без применения удобрений эффективно вести аграрное производство проблематично. Таким образом, становление закономерностей динамики агрофизических свойств почвенного покрова с учётом их влияния на биопродуктивность агрофитоценозов при изменчивых погодных условиях является теоретической основой решения проблемы повышения стабильности земледелия, в частности при использовании только природного фона плодородия и получения органической продукции растениеводства. На информационной базе стационарного агротехнического опыта установлено, что плотность сложения почвы колеблется по годам и зависит от гидротермических условий, что складывается с достоверностью аппроксимации – 0,75. Отмечено обратную зависимость между плотностью сложения почвы и её водопроницаемостью в разрезе севооборотов с $R^2 = 0,8–0,9$, по годам с $R^2 = 0,6$. Коэффициент вариации урожайности бобовых культур составляет 30–33%, пшеницы озимой – 33–37%, ячменя ярового – 36–37%, что является показателем её низкой стабильности по годам. Урожайность культур в зависимости от особенностей погодных условий года также существенно колебалась: гороха в пределах 0,8–3,2, чины – 0,8–2,6, пшеницы озимой – 0,6–6,8, гречихи – 0,6–1,9, ячменя ярового – 0,6–3,5 т/га. Севооборот с горохом по продуктивности (2,4 т/га зерна) в среднем превосходит другие при сохранении закономерностей колебания этого показателя относительно гидротермических условий. При среднестатистической цене реализации доходность с 1 га севооборотной площади всех исследуемых севооборотов оказалась на одном уровне, с колебанием в неблагоприятные годы 27–35 у. е./га, в благоприятные – 97–104 у. е./га, со средним уровнем 66–73 у. е./га. Если предположить что цена реализации органической продукции будет на 25% выше по сравнению с обычной, тогда средняя по годам прибыль вырастет в три раза. Перспективы дальнейших исследований должны отвечать общемировому тренду научных исследований, направленных на разработку концептуальных основ влияния гидротермических условий на агрофизические свойства почвы с учётом их влияния на биопродуктивность агрофитоценозов как теоретического основания решения проблемы повышения стабильности земледелия, в частности при использовании только природного фона плодородия органик-ориентированной модели развития аграрного сектора экономики.

Ключевые слова: корреляция, гидротермические условия, плотность сложения почвы, урожайность, севооборот, чистая прибыль, органическая продукция.

S.I. Kudria

Effects of hydrothermal conditions on agrophysical properties of typical chernozem and crop rotation productivity in the system of organic farming

Abstract. Optimization of the water-air regime of the soil by conducting various types of land reclamation allows to significantly eliminate the negative effects of adverse weather conditions and ensure high sustainability of agroecosystems. However, with regard to the requirements for organic farming in the regions with a shortage of water supply without sufficient water resources and without the use of fertilizers to effectively conduct agricultural production is problematic. Thus, the establishment of the patterns of dynamics of agrophysical soil properties, taking into account their impact on the bioproductivity of agrophytocenoses under variable weather conditions is the theoretical basis for solving the problem of increasing agricultural

sustainability, in particular when using only natural fertility and organic crop production. Based on the information obtained in the course of a stationary agrotechnical experiment it was established that the soil density varies over the years and depends on the hydrothermal conditions with the approximation certainty of 0.75. The inverse relationship between the density of soil structure and its water conductivity in terms of crop rotations with $R^2 = 0,8-0,9$, by years with $R^2 = 0,6$ was revealed. The coefficient of variation of legumes yield was 30–33%, winter wheat – 33–37%, spring barley – 36–37%, which are the indicators of its low sustainability over the years. Crop yields, depending on the weather conditions of the year, also fluctuated significantly: peas in the range of 0,8–3,2, lathyrus – 0,8–2,6, winter wheat – 0,6–6,8, buckwheat – 0,6–1,9, spring barley – 0,6–3,5 t/ha. Crop rotation with peas in terms of productivity (average 2.4 t/ha of grain) outperformed the others while maintaining the patterns of fluctuations of this indicator in relation to hydrothermal conditions. Having the average sales price, the yield per 1 hectare of crop rotation area of all studied crop rotations was almost the same with fluctuations in the unfavorable years of 27–35 c. u./ha, in favorable ones – 97–104 c. u./ha, with the average value of 66–73 c. u./ha. If we assume that the selling price of organic products will be 25% higher than usual, the average annual yield will triple. Prospects for further research should correspond to the global trend of scientific research aimed at developing conceptual bases for the effects of hydrothermal conditions on the agrophysical properties of soil, taking into account their impact on bioproductivity of agrophytocenoses as a theoretical basis for solving the problem of increasing agricultural sustainability, in particular, using only the natural fertility of the organic-oriented model of developing the agricultural sector of the economy.

Key words: correlation, hydrothermal conditions, soil density, yield, crop rotation, net profit, organic products.