ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ЧОРНОЗЕМУ ЗВИЧАЙНОГО ЗА РІЗНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

С. Ю. БУЛИГІН, доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів
ім. проф. М.К.Шукули, академік НААН

С. В. ВІТВИЦЬКИЙ, кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів
ім. проф. М.К.Шукули

М. І. БАЙДЮК, кандидат сільськогосподарських наук
Національний університет біоресурсів і природокористування України
E-mail: slavavit@ukr.net

Анотація. Основним показником теплового режиму ґрунту є його температура. Різні агротехнічні заходи (рихлення, коткування, зрошення тощо) певною мірою впливають на температуру ґрунту і тепловий режим у цілому, істотно змінюючи параметри його фізичних властивостей: вологість, щільність, шпаруватість.

Головною метою досліджень є комплексна оцінка впливу “нульових” технологій вирощування культур на зміну температурних параметрів і теплового режиму чорнозему звичайного малогумусного у контексті розуміння (по tillage) американських науковців, які мають всі підстави вважатися авторами і фундаторами цих агротехнологій.

Заміна традиційної технології “нульовою” в сільськогосподарському виробництві Степу обумовлює зниження температури орного шару ґрунту, особливо в денні години. Найсуттєвіша різниця в температурі відмічається у верхньому (0–10 см) шарі, що визначається, передусім, умовами акумуляції та поширення тепла в ґрунті. Відмічене підкреслює актуальність вивчення “нульових” технологій, змін строків посіву, підбору оптимальних площ живлення, сортів тощо. Тобто, слід переглянути всі агрономічні вимоги щодо оптимального забезпечення росту і розвитку культурних рослин.

Ключові слова: температура ґрунту, теплофізичні властивості ґрунту, «нульова технологія», моделі теплофізичних властивостей ґрунту

Актуальність.

Тепловий режим має важливе значення у системі управління продуктивністю ґрунту, але залишається найменш піддатливим до управління. Тепловий режим ґрунту потрібно оцінювати за динамікою температурного поля у кореневмісному шарі ґрунту, з якою пов'язані терміни початку та закінчення польових робіт, згубна дія заморозків, мікробіологічна активність та мінералізація гумусу, склад ґрунтового повітря, інтенсивність дихання, інтенсивність надходження елементів живлення у рослини тощо. Тепловий режим ґрунту є основним енергетичним джерелом колообігу речовин у системі «ґрунт-рослина».

Регулювання теплового режиму ґрунту повинно бути спрямоване на поліпшення умов росту і розвитку культурних рослин, зокрема агротехнічними заходами різної інтенсивності технологічного навантаження, які істотно змінюють теплоємність і теплопровідність ґрунту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Дані закордонних та вітчизняних дослідників щодо прояву теплового режиму ґрунтів за різних технологій вирощування культур і, насамперед, обробітку ґрунту різноманітні та дещо суперечливі [Вадюнина А. Ф., Корчагіна З. А., 1973; Гупало А. И., 1959; Хенкс Р. Дж., Ашкрофт Дж. Л., 1985; Larsen, J. K. Brun, L. J. Enz, J. W., Cox, D. J., 1988; Potter K. N., Cruse R. M., Horton, R., 1985; Van Duin, R. H. A., 1956]. Так, за даними М. К. Шикуди (Шикуди Н. К., Назаренко Г. В., 1990) на фоні мінімального обробітку на глибину 10–12 см без мульчі температура ґрунту на поверхні та на глибині 5 см була нижчою, ніж за полицевого обробіт-

ку, а на глибині 10 см та 20 см вона була вищою. Тихонравова П. І. і А. В. Нестерова (Тихонравова П. И., Нестерова А. В., 1995) встановили, що в цілому “нульова” технологія сприяє зниженню температури в орному шарі у теплий період. Істотно впливає на температурний режим ґрунту кількість рослинних решток, залишених або внесених на поверхню ґрунту. Doran J. W. (Doran J. W., Wilhelm W. W., Power, J. F., 1984) показав, що залежно від кількості мульчі за “нульової” технології максимальна температура поверхні ґрунту за літні місяці коливалась в середньому від 46,6°C до 54,6°C. За J. K. Larsen мінімальна температура ґрунту зимою за полицевої оранки становила 24°C, тоді як у варіанті з сівбою безпосередньо в стерню – лише 8 °C. За даними M. Johnson і B. Lowery (Johnson M. D., Lowery B., 1985), теплоємність ґрунту за “нульової” технології вирощування кукурудзи була вищою. S. C. Gupta, W. E. Larson і R. R. Allmaras (Gupta, S. C., Larson, W. E. Allmaras, R. R., 1984) також відмічали різницю у теплоємності між варіантами дослідів (технологіями). Проте K. N. Potter із співавторами отримав дані, які свідчать про фактично однакову теплоємність.

Дослідники спостерігали вищу температуропровідність ґрунту (на 20 % більшу порівняно з оранкою) за “нульової” технології (Potter, K. N., Cruse, R. M., Horton, R., 1985; Johnson M. D., Lowery, B., 1985; Петренко Л. Р. та ін., 2017; Булигін С. Ю. та ін., 2018). Potter K. N. (Potter, K. N., Cruse, R. M., Horton, R., 1985) повідомляє, що температуропровідність збільшувалась лінійно, незалежно від технологій, із збільшенням вологості ґрунту. Автор посилається на Van Duin (Van Duin, R. H. A., 1956), який у 1956 році встановив підвищення температуропровідності ґрунту до певної межі і зниження її

за подальшого збільшення вологості. Gupta S. C., W. E. Larson і R. R. Allmaras (Gupta, S. C., Larson, W. E. Allmaras, R. R., 1984) знайшли, що різниця температуропровідності в ґрунтовому профілі 0–30 см була відносно малою. Очевидно, що кожен із цих авторів має свої дані, які інколи співпадають із даними інших дослідників, а інколи виявляються протилежними.

Метою роботи була оцінка впливу різних технологій обробітку ґрунту за вирощування культур польової сівозміни на температурний режим та теплофізичні показники чорнозему звичайного.

Матеріали та методи досліджень.

Дослідження температурних параметрів і теплового режиму ґрунту проводились в умовах стаціонарного польового досліді на території дослідного господарства Інституту агропромислового комплексу у польовій сівозміні на чорноземі звичайному малогумусному.

Варіантами дослідження були традиційна і “нульова” технології обробітку ґрунту за вирощування польових культур (представлені дані щодо кукурудзи на зерно після озимої пшениці і озимої пшениці після кукурудзи на силос. Проективне покриття рослинними рештками у сівозміні ніколи не перевищувало 25 % навіть за «нульової» технології, що менше нормативу (30 %) визначення ґрунтоохоронних технологій). Крім того, окремими варіантами були беззмінний посів кукурудзи на зерно (монокультура) і мікроділяночний посів монокультури кукурудзи за близького до 100%-го проективного покриття мульчею з подрібнених стебел. Повторність у просторі 3-кратна, у часі – 4-кратна; розмір посівної ділян-

ки складав 1,7 га, облікової – 100 м². Температура ґрунту під озимою пшеницею вимірювалась термометрами Саввінова тричі на добу через кожні 5 см до глибини 20 см від 7.00 до 18.00 години. Максимальна температура поверхні ґрунту вимірювалась максимальними термометрами в останній декаді травня – першій декаді червня.

Результати та їх обговорення.

З метою одержання більш детальної та різнобічної картини температурного режиму ґрунту було проведено спостереження за температурою поверхні та орного шару ґрунту погодинно у варіантах: традиційна технологія, “нульова” технологія без мульчі (міжряддя), “нульова” технологія без мульчі (рядок) та “нульова” технологія з мульчею. Максимальна температура поверхні ґрунту (рис. 1а) у червні виявилась близькою за “нульової” без мульчі в рядку та міжрядді (№ 2, 4), а також за традиційної технології (№ 1). Значно нижчою (на 18–19 °С) була температура поверхні ґрунту за “нульової” технології з мульчею. Аналізуючи графіки, стає очевидним, що різниця температур ґрунту залежить переважно від наявності рослинних решток і дещо менше – від обробітку ґрунту. Різниця між графіками (кривими) 3 та 2 і 4 (однакові технології, різна кількість рослинних решток на поверхні ґрунту) була більшою, ніж між графіками № 1 та № 2 і 4 (різні технології, але однакове покриття, точніше його відсутність), які мають практично однакову конфігурацію. Температура поверхні ґрунту максимального значення сягає о 15.00 години, а на глибині 5 см – через годину (рис. 1б).

За кількісної оцінки умов формування температурного режиму ґрунту були визначені (вираховані) параметри теплофізичних властивостей орно-

го шару ґрунту у варіантах досліді. Встановлені показники визначають, в основному, теплоаккумуляцію і теплоперенесення в ґрунтовій товщі. Теплофізичні властивості ґрунту, крім прямого їх визначення (Вадюнина А. Ф., Корчагіна З. А., 1973), досить добре

описуються за допомогою моделей. Існують два типи моделей: емпіричні та фізичні. Емпіричні моделі температури ґрунту (Гупало А. И., 1959) є досить зручними за наявності даних, які отримані в даній місцевості на даному ґрунті. Фізичні ж моделі (Heatherly, L.

Рис. 1. Погодинна динаміка температури ґрунту, °С у різних варіантах досліді: а) поверхня ґрунту; б) на глибині 5 см

G., Elmore, C. D., Wesley, R. A., 1989), базуються на загальних принципах теплового потоку в ґрунті і менше залежать від специфіки конкретних умов.

Об'ємна теплоємність ґрунту визначається закордонними та вітчизняними дослідниками за ідентичними формулами (Гупало А. И., 1959; 2, Heatherly, L. G., Elmore, C. D., Wesley, R. A., 1989).

$$C_v = (0,2 + W/100) \times \rho, \quad (1)$$

де C_v – об'ємна теплоємність;

W – вологість;

ρ – щільність;

0,2 – питома теплоємність.

Об'ємна теплоємність із збільшенням вологості та щільності зростає лінійно. Теплопровідність ми визначали за рівнянням теплового потоку, запропонованим А. И. Гупало (Гупало А. И., 1959) для ґрунтів важкосуглинистого складу:

$$\lambda = 10^{-3} (2,1\rho^{1,2-0,02W-0,007(W-20)^2} + \rho^{0,8-0,0W}) (0,2 + W/100) \rho, \quad (2)$$

Температуропровідність (K) розраховувалась на основі залежності:

$$K = \lambda / C_v. \quad (3)$$

Восени після сівби озимини в шарі 0–10 см по “нульовій” технології всі теплофізичні властивості чорнозему були вищими, а теплоємність істотно більшою (табл. 1). Незаперечним є вплив вологості та щільності на теплофізичні властивості. Але ще в 1959 році

А. И. Гупало (А. И. Гупало, 1959) показала, що теплоємність зростає у разі збільшення вологості та щільності, а температуропровідність та теплопровідність лінійно підвищуються лише із збільшенням щільності. Зростання температуро- та теплопровідності за рахунок вологості відбувається лише до певної межі, а згодом іде зниження.

Пік температуропровідності А. И. Гупало (Гупало А. И., 1959) визначає так: “коефіцієнт температуропровідності збільшується зі збільшенням вологості й сягає максимуму за таких величин, коли плівково–менисковий механізм переходить у капілярний, що відповідає вологості уповільнення росту рослин”. Отже, підвищена теплоємність ґрунту за “нульової” технології обумовлена більш високою вологістю (30,2 %) в порівнянні з традиційною (23,7 %) та більшою щільністю (1,23 та 1,08) відповідно. Підвищену температуро- та теплопровідність за “нульової” технології можна пояснити лише за рахунок більшої щільності, що підтверджують інші дослідники (Larsen, J. K., Brun, L. J., Enz, J. W., Cox, D. J., 1988; Potter, K. N., Cruse, R. M., Horton, R., 1985).

В шарі ж 10–20 см теплоємність, тепло- та температуропровідність, навпаки, були дещо вищими за традиційної технології. Основною при-

1. Теплофізичні показники чорнозему звичайного за різних технологій обробітку ґрунту після сівби озимої пшениці

Технологія обробітку ґрунту	Шар ґрунту, см	Теплоємність, кал / м ²	Температуропровідність, м ² / с	Теплопровідність, Дж / см / с / град
Традиційна	0-10	0.4700	0.0033	0.0016
	10-20	0.6300	0.0034	0.0021
“Нульова”	0-10	0.6200	0.0034	0.0021
	10-20	0.6200	0.0032	0.0020
НІР _{0,5}	0-10	0.13	0.0007	0.0005
	10-20	0.08	0.0002	0.0003
S%	0-10	7.8	12.1	4.8
	10-20	4.0	5.4	1.2

чиною підвищення цих показників є збільшена щільність ґрунту за традиційної технології – 1,25 проти 1,17 за “нульової” – через, так звану, “плужну підшову”, дискування та культивування, оскільки вологість ґрунту була практично однаковою за варіантами.

Згідно отриманим даним можна припустити, що верхній (0-10 см) шар ґрунту у варіанті з “нульовою” технологією буде менше прогріватися, ніж у контролі, бо його нагрівання потребує більше тепла, що обумовлене, перш за все, вищою теплоємністю (0,62) порівняно з контролем (0,47). У той же час, цей шар буде проводити більше тепла (теплопровідність ґрунту у варіанті з “нульовою” технологією вище на 0,0005 Вт/м·град, ніж із традиційною), що призводить до зменшення різниці температур між варіантами. В шарі 10-20 см умови акумуляції та переносу тепла мало відрізняються за варіантами, тому різниця в температурі ґрунту між “нульовою” та традиційною технологіями незначна.

Маючи всі необхідні агрофізичні показники ґрунту і рівняння, ми визначили теплофізичні показники в наших дослідках із різними варіантами обробітку ґрунту за вирощування кукурудзи. Всі виміри проведені 6 червня (табл. 2). В шарі 0–10 см теплоємність за “нульової” технології без мульчі та з мульчею вия-

вилась істотно більшою, ніж за традиційної. Це обумовлено більшою щільністю за “нульовими” технологіями (1,24 г/см³ – без мульчі, 1,14 г/см³ – з мульчею) проти 1,02 г/см³ за традиційною, а за “нульовою” технологією з мульчею також більша вологість у шарі 0–10 см (29,6 %) проти 22,6 % – за традиційною.

В шарі 10–20 см теплоємність за традиційної технології була істотно більшою порівняно з “нульовою” в рядку, оскільки за міжрядної обробки відбувається ущільнення. Звичайно, коректніше було б порівнювати щільність рядка за “нульової” технології з рядком за традиційної, але передпосівна культивация також сприяє створенню, так званої, “орної підшови”. Безперечно, максимальна теплоємність в шарі 10–20 см спостерігається за “нульової” технології з мульчею через вищу вологість (28,4 %) порівняно із традиційною (18,9 %), хоча порівняно з НІР (0,11) різниця в теплоємності між цими варіантами несуттєва. Вища теплоємність ґрунту за “нульової” технології без мульчі, з нашої точки зору, створена досить високими вологістю та щільністю ґрунту – 23,9 % та 1,20 г/см³ відповідно.

Теплопровідність поводить себе аналогічно теплоємності, що обумовлено вищезазначеними чинниками. За “нульової” технології без мульчі та з мульчею

2. Теплофізичні показники чорнозему звичайного під кукурудзою (монокультурною) за різних технологій обробітку ґрунту

Технологія обробітку ґрунту	Шар ґрунту, см	Теплоємність, кал/м ²	Температуро-провідність, м ² /с	Теплопровідність, Дж/см/с/град
Традиційна	0-10	0,43	0,00134	0,00311
	10-20	0,49	0,00184	0,00378
“Нульова” без мульчі	0-10	0,53	0,00198	0,00375
	10-20	0,53	0,0019	0,0036
“Нульова” з мульчею	0-10	0,56	0,00186	0,00331
	10-20	0,58	0,00189	0,00329
“Нульова” (рядок)	0-10	0,4	0,00126	0,00318
	10-20	0,44	0,00151	0,00346

теплопровідність була істотно вищою в шарі 0–10 см, однак у шарі 10–20 см за традиційної технології вона переважала показники за “нульової” у рядку. Між поверхнею ґрунту та глибокими шарами відбувається безперервний теплообіг. Потік тепла, який може мати напрямок від поверхні ґрунту вглиб та навпаки, називається теплообігом у ґрунті. За Р. Д.Хенксом та ін. (Хенкс Р.Дж., Ашкрофт Дж.Л., 1985), тепловий потік – це теплопровідність помножена на градієнт температури у вертикальному напрямку.

Отже, маємо:

$$Q = -\lambda(\Delta T/\Delta z). \quad (4)$$

де Q – тепловий потік поверхні ґрунту;

λ – теплопровідність;

$(\Delta T/\Delta z)$ – градієнт температури у вертикальному напрямку.

Маючи температуру ґрунту до 10 см погодинно з 7.00 до 18.00 години (рис. 2), ми в змозі вирахувати тепловий потік до визначеної глибини за цей проміжок часу.

Якщо тепловий потік у шарі ґрунту 0–10 см за традиційної технології прийняти за 100 %, то за “нульової” без мульчі він буде на 51 % більшим за “нульової” в рядку – виявився більшим на 1/4 (125 %), а за “нульової” з мульчею він становив лише 81 %.

Висновки та перспективи

1. Температура ґрунту залежить переважно від наявності рослинних решток і дещо менше – від обробітку ґрунту. Максимальна температура поверхні ґрунту у червні виявилась близькою за “нульової” без мульчі в рядку та міжрядді, а також за традиційної технології. Значно нижчою (на 18–19 °C) була температура поверхні ґрунту за “нульової” технології з мульчею.

Рис. 2. Тепловий потік у шарі ґрунту 0–10 см

2. Максимальна теплоємність спостерігається за “нульової” технології з мульчею через вищу вологість (28,4 %) порівняно з традиційною (18,9 %) і щільність ґрунту – 1,14 та 1,02 г/см³ відповідно.
3. Якщо тепловий потік у шарі ґрунту 0–10 см за традиційної технології прийняти за 100 %, то за “нульової” без мульчі він буде на 51 % більшим, за “нульової” в рядку – виявився більшим на 1/4 (125 %), а за “нульової” з мульчею він становив лише 81 %.

References

1. Vadyunina, A. F., Korchagina, Z. A. (1973). *Metody issledovaniy fizicheskikh svoystv pochv i gruntov* [Methods for studying the physical properties of soils and soil]. Moscow: Vysshaya shkola, 399.
2. Gupalo, A. I. (1959). *Teplovyye svoystva pochvy v zavisimosti ot yeyo vlazhnosti i plotnosti* [Thermal properties of the soil, depending on its humidity and density]. Soil science. 4, 41–45.
3. Khenks, R. Dzh., Ashkroft, Dzh. L. (1985). *Prikladnaya fizika pochv: Vlazhnost' i temperatura pochvy* [Applied soil physics: Moisture and temperature of the soil]. Leningrad: Gosmeteoizdat, 152.
4. Larsen, J. K. Brun, L. J. Enz, J. W., Cox, D. J. (1988). *Predicting soil temperature to indi-*

- cate winter wheat mortality. Soil Sci. Soc. Am. J. 52, 776 – 780.
5. Potter, K. N., Cruse, R. M., Horton, R. (1985). Tillage effects on soil thermal properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 49, 968 – 973.
 6. Van Duin, R.H.A. (1956). On the influence of tillage on conduction of heat, diffusion of air and infiltration of water in soil. Agric. Res. Rep. 7, 62 – 82.
 7. Shikula, N. K., Nazarenko, G. V. (1990). Minimal'naya obrabotka chernozemov i vosproizvodstvo ikh plodorodiya [Minimal processing of chernozem and reproduction of their fertility]. Moscow: Agropromizdat, 320.
 8. Tikhonravova, P. I., Nesterova, A.V. (1995). Temperaturniy rezhim dernovo-podzolistoy pochvy pri minimalizatsii obrabotki [Temperature conditions of sod-podzolic soil with minimal processing]. Soil science. 2, 200 – 204.
 9. Doran, J. W., Wilhelm, W. W., Power, J. F. (1984). Crops residue removal and soil productivity with no – till corn, sorghum and soybean. Soil Sci. Soc. Am. J. 48, 640 – 645.
 10. Johnson, M. D., Lowery, B. (1985). Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 49, 1547 – 1552.
 11. Gupta, S. C., Larson, W. E., Allmaras, R. R. (1984). Predicting soil temperature and soil heat flux under different tillage – surface residue conditions. Soil Sci. Soc. Am. J. 48, 223 – 232.
 12. Heatherly, L. G., Elmore, C. D., Wesley, R. A. (1989). Weed control and soybean response to preplant tillage and planting time. Soil & Tillage Research. 2, 111 – 122.
 13. Petrenko, L. R., Vitvitsky, S. V., Bulyhin, S. Yu., Bohdanovych, R. P. (2017). Upravlinnya gruntovymy rezhymamy [Management of soil regimes]. Kyiv: NUBIP Ukraine, 81-92.
 14. Bulyhin, S. Yu., Tonkha, O. L., Vitvitsky, S. V., Pikovska, O. V., Antonyuk, D. O. (2018). Rehlamentuvannya tekhnolohichnoho navantazhennya na grunty [Regulation of technological load on soils]. Interagency thematic scientific collection «Agrochemistry and soil science, 2, 290-296.

S. Yu. Bulygin, S. V. Vitvitsky, M. I. Baydiuk (2019). Thermal regime of the chernozem ordinary under different technological loads. PLANT AND SOIL SCIENCE, 10(2): 50–57.

<https://doi.org/10.31548/agr2019.01.050>

Abstract. The main indicator of the thermal regime of the soil is its temperature. Different agro-technical measures (deflection, dipping, irrigation, etc.) to a certain extent influence the temperature of the soil and the thermal regime in general, substantially changing the parameters of its physical properties: humidity, density, sparseness.

The main objective of the research is a comprehensive assessment of the effect of "no-till" crop cultivation technologies on the change of temperature parameters and the thermal regime of chernozem ordinary in the context of understanding (no tillage) of American scientists who have every reason to be considered authors and founders of these agrotechnologies.

Replacing traditional technology with "zero" in the agricultural production of the Steppe causes a decrease in the temperature of the arable layer of soil, especially in daylight hours. The most significant difference in temperature is observed in the upper (0-10 cm) layer, which is determined, first of all, by the conditions of accumulation and heat propagation in the soil. The noted emphasizes the relevance of studying "zero" technologies, changes in the timing of sowing, selection of optimal feeding areas, varieties, etc. That is, all agronomic demands for optimal growth and development of cultivated plants should be reviewed.

Keywords: soil temperature, thermophysical properties of soil, "zero technology", models of soil thermophysical properties.